El autor, Carleton Pearl, es graduado de la Phillips Academy, de Andover, y del William College. Como Director de Relaciones Públicas de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Columbia, se ha encargado de poner en términos comprensibles para el profano, mucho del trabajo inicial que en materia de energía atómica realizaron los famosos físicos de Columbia, entre ellos Fermi, Dunning y demás mencionados en este libro. Su exposición por televisión abrió los ojos a todos los que la vieron, y su libro causará el mismo efecto, tanto a jóvenes como ancianos.

El señor Carleton Pearl es también Asesor de Relaciones Públicas del Consejo Conjunto de Ingenieros y Asesor de su Comisión Personal.



# LA DÉCIMA MARAVILLA:

# Energía Atómica



Carleton Pearl


Editorial Ágora

Colección Temas Actuales • 18

# La Décima Maravilla: Energía Atómica

por CARLETON PEARL

En este libro, el autor ha referido la más grande historia del siglo XX: cómo los hombres aprendieron a liberar la energía de los átomos. En palabras que todos podemos entender, ha explicado qué es un átomo y cómo sabemos que existe, puesto que no podemos verlo. Luego ha descrito los experimentos hechos en Columbia y después en Chicago, que fueron los que realmente produjeron la primera fisión atómica.

Lo más fascinador de todo, y lo que más afecta al interés personal de cada lector, es la visión que de las enormes posibilidades futuras de la energía átomica ofrece el libro. En la industria, la medicina y demás profesiones, así como tam-

*(sigue en la otra solapa)*

CARLETON PEARL

# LA DÉCIMA MARAVILLA: ENERGÍA ATÓMICA

CARLETON PEARL

# La Décima Maravilla: ENERGÍA ATÓMICA



EDITORIAL AGORA
BUENOS AIRES, ARGENTINA

Colección TEMAS ACTUALES
DIRIGIDA POR JOSÉ RICARDO TORFANO

Título del original en inglés:
THE TENTH WONDER: ATOMIC ENERGY

Traducción de:
MARIO ARNALDO MARINO

PRIMERA EDICIÓN
JUNIO DE 1957

IMPRESO EN ARGENTINA — PRINTED IN ARGENTINA

Queda hecho el depósito que previene la ley 11.723.


# PREFACIO

*La energía atómica ya está sobre nosotros y, antes de lo que la gente cree, la energía nuclear ejercerá un efecto cada vez más constructivo en nuestra vida diaria. De la misma manera que entendemos algo de automóviles, radio y televisión, también debemos saber algo de energía atómica.*

*La energía atómica ofrece posibilidades tan enormes para el futuro de las industrias, la medicina, las profesiones o la agricultura, que toda persona joven que proyecte desarrollar una carrera debiera poseer ciertos conocimientos acerca de las muchas oportunidades que tenemos por delante. En este libro,* La Décima Maravilla, *el señor Pearl ha escrito una obra popular y muy fácil de entender sobre los puntos más sobresalientes de la historia, aspectos técnicos y aplicaciones de la energía nuclear. El libro es un curso sumamente sintetizado de energía atómica, escrito en forma sencilla para guardarlo en la biblioteca del hogar. Como tal, es una excelente introducción para el lego de la edad del átomo. Es muy probable que los adultos encuentren este libro tan interesante como*

*los lectores más jóvenes, a quienes va destinado principalmente.*

*Los ingenieros y hombres de ciencia que están creando el futuro de la energía nuclear, están profundamente convencidos de que las aplicaciones pacíficas del átomo son mucho más importantes que su utilización como arma. Me satisface particularmente que el autor de* LA DÉCIMA MARAVILLA *nos haya presentado en nuestra verdadera luz como personas que trabajamos para contribuir al bienestar y no a la destrucción del mundo.*

*Me siento ciertamente feliz de poder brindar mi entusiasta apoyo al libro de mi amigo Carleton Pearl, el cual creo que no tiene precedentes en la literatura del átomo.*

JOHN R. DUNNING
Decano de la Escuela de Ingeniería
de la Universidad de Columbia.

## INTRODUCCIÓN

EN el mundo antiguo había siete maravillas. Todo el mundo tiene su octava maravilla favorita. La teoría de la relatividad, de Albert Einstein, es la novena. Y el desarrollo de la energía atómica la décima.

La forma cómo el hombre logró aprovechar la energía contenida en el átomo es la historia más grande del siglo veinte. Nunca jamás, en la historia, un adelanto científico se había puesto de manifiesto en una forma tan terrible y sobrecogedora. La primera bomba atómica se hizo estallar en Álamogordo, Nuevo Méjico, en presencia de hombres de ciencia y militares, que sufrieron una conmoción hasta lo profundo de sus almas. La explosión atómica de Hiroshima, ocurrida pocas semanas más tarde, conmovió la tierra y a toda la humanidad.

Este fue el resultado de más de cincuenta años de estudios e investigaciones por los millares de personas que contribuyeron a realizar la fisión nuclear. A veces por casualidad y a veces mediante planeamiento, los conocimientos de la posibilidad de fraccionar el átomo y, finalmente, de la misma hazaña en sí, se fueron ensamblando

parte por parte. Sabios e ingenieros de muchos países aunaron sus brillantes deducciones para posibilitarlo.

El hecho de que los Estados Unidos entraron en la Segunda Guerra Mundial en diciembre de 1941, a los tres años de haberse roto el primer átomo de uranio, orientó las investigaciones científicas nucleares hacia la bomba atómica. Sin embargo, incluso mientras trabajaban para conseguir la bomba, todo científico interpretaba que el desencadenamiento de la energía del átomo constituía un paso de gran importancia hacia una vida mejor para todos, a pesar de su empleo inmediato para la destrucción. En efecto, los materiales que se utilizaron para hacer la bomba se pueden emplear con la misma eficacia para el desarrollo de tiempos de paz.

En el momento de escribir estas líneas, la energía atómica se está utilizando para producir energía eléctrica en tierra, para propulsar barcos, aviones y cohetes, como también con fines médicos y agrícolas.

Es imposible hablar de esta vasta y magnífica historia de la energía atómica en un libro corto, y ni siquiera en uno extenso, sin dejar de mencionar muchos de los maravillosos acontecimientos y personas que intervinieron en ella. Abrigo, por lo tanto, la esperanza que quizá el lector descubra en este libro algo que despierte su interés para continuar siguiendo en adelante los adelantos de la energía atómica, sea para hacer carrera o como asiduo aficionado.

Como el resto de nosotros, los científicos e ingenieros dedican mucho tiempo a pensar por qué las cosas tienen



cohesión y cómo llegaron a ser de ese modo. Sus arranques de curiosidad pueden ser levemente mayores, sus cerebros pueden estar más finamente adiestrados, pero en otros sentidos son gente como cualquier otra. La terminología que emplean los científicos y los técnicos muchas veces resulta confusa, complicada e incluso aparentemente misteriosa. Esto es completamente natural. Imagine que usted comenzase a aprender a manejar un automóvil y que su instructor le dijese: "Introduzca ese objeto en la ranura, oprima ese botón que está allí, suelte aquéllo y podrá arrancar". Usted, sin duda, no tendría mayormente idea de qué hacer para poner en marcha el motor de un automóvil. Sin embargo, si el instructor dijese: "Introduzca la llave en la cerradura y oprima el botón de arranque, suelte el freno y podrá arrancar", usted sabría qué hacer. Usted mismo, además, tiene que aprender ciertos términos para poder comprender cómo se maneja un auto. Del mismo modo el científico atómico o el físico nuclear tiene que aprender o inventar palabras para describir lo que se hace. Cuanto más se estudia teoría atómica, más extraña (para nosotros) son las palabras que se necesitan. Por lo tanto, si encuentra una palabra rara, recuerde que ése es el nombre preciso para alguna cosa, o una palabra para describir algún tipo de acción. Debo expresar mi agradecimiento al profesor William W. Havens, Jr., del Departamento de Física de la Universidad de Columbia, por muchas de las palabras exactas de este libro.

Pido disculpas a los hombres de ciencia e ingenieros

cuya importante labor, indudablemente, ha sido subestimada. Los motivos por haberlo hecho son obvios. Autor y lector emprendemos una aventura en estas páginas, y ambos esperamos aprender algo de ellas.

# ¿Qué es el átomo?

## Capítulo I

Todo lo que existe en el mundo, en el sol, en las estrellas, en usted, en mí y en todos los objetos, vivientes o no, está compuesto por partículas increíblemente pequeñas que se encuentran en constante movimiento. Es imposible que la imaginación más fecunda pueda concebir lo diminuto de estas partículas, y mucho menos las tremendas fuerzas que mantienen a esas partículas unidas. A ésta constantemente la denominamos "energía" de movimiento dinámico. Cuando el movimiento se estabiliza, se suspende o se condensa, lo denominamos "materia".

Muchos tipos de energía son familiares para nosotros, como la luz, el calor y la electricidad. Estas energías, pese a lo poderosas que nos parecen, no significan gran cosa comparado con las fuerzas que mantienen unidas a las diminutas partículas.

El átomo es un conjunto de esas partículas pequeñísimas. Las mismas reciben el nombre de neutrones, protones y electrones. Los neutrones y protones constituyen el centro del átomo, y los electrones, que son más livianos, giran en las capas exteriores del átomo. Todas las partículas, no siendo los electrones, se mantienen unidas en





forma tan compacta que para separarlas se necesitan máquinas que pesan toneladas y que emplean grandes cantidades de energía eléctrica.

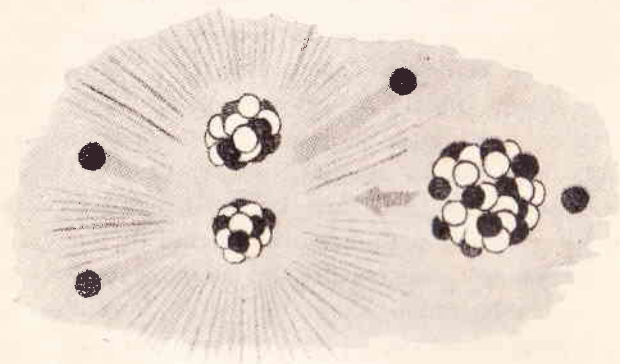
Cuando el hombre fraccionó por primera vez el átomo en 1939, se dio el paso más tremendo hacia el descubrimiento de la causa que hace que el Universo tenga forma. Las bombas atómicas y de hidrógeno, a pesar de lo aterradoras que son, representan enormes y terribles experimentos en el desencadenamiento de la vasta energía que mantiene unidas a las pequeñas partículas del átomo.

Divídase un kilo de átomos y se tendrá la fuerza tremenda de la bomba atómica, que representa veinte mil toneladas de TNT. Únanse las partículas mediante el calor, y se obtendrá un desprendimiento de energía muchas veces mayor, como ocurre con la bomba de hidrógeno. Así, la bomba atómica consiste en un fraccionamiento y la bomba de hidrógeno es una unión. Al primer fenómeno se lo denomina fisión y al segundo fusión.

Aunque parezca extraño, esta fisión y fusión existe dentro de nosotros y se realiza con nosotros en todo momento. Usted come una gran cantidad de átomos contenidos en los alimentos, y las misteriosas enzimas de su estómago y sistema digestivo separan o fusionan los átomos para fabricar las diferentes partes de su cuerpo, en lo que se denomina acción y reacción química. Esto es característico del perpetuo estado de movimiento o cambios entre los átomos. Lo mismo sucede cuando se enmohece un automóvil o se quema carbón. Cuando usted enciende un fósforo o quema un trozo de carbón o de

madera, también esto es un cambio, un movimiento, en el cual ciertos átomos se combinan con otros átomos. A veces la energía se convierte en materia, pero con mayor frecuencia la materia se transforma en energía.

A pesar de esta actividad o cambios, ninguna de las partículas esenciales se pierde. Una hoja de pasto pesa



Fisión nuclear

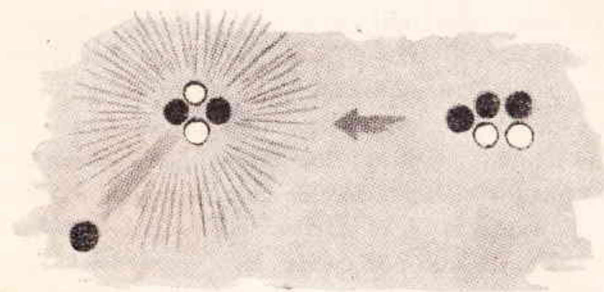
más que las cosas que nosotros sabemos que han entrado en ella. Ha recibido materia, que se ha convertido en tal de los rayos de energía provenientes del sol.

La materia y la energía no se pueden crear. Siempre existen. Lo que la Naturaleza hace y lo que nosotros hacemos es transformarlas de una forma, tamaño, o clase, a otra. Pero si conociésemos el secreto de cómo la hoja de pasto convierte la energía solar en materia, probablemente sabríamos el secreto de la vida física. La energía



y la materia con que trabajamos aquí, en la Tierra, nos ha llegado íntegramente del Sol. Están almacenadas en el carbón y el petróleo.

Las transformaciones de energía, como el fuego, la digestión o el crecimiento de las plantas, son canjes de energía química, mientras el calor y la luz representan



Fusión nuclear

cambios de energía física. La cantidad de materia que se pierde y de energía que se forma mediante esos cambios, o viceversa, es extraordinariamente pequeña. Cuando usted quema algo en un vaso cerrado, aunque parezca más chico, pesa lo mismo. No se pierde materia suficiente como para poder pesar la diferencia.

Toda la liberación de energía en forma de calor y luz proviene de la capa exterior del átomo y no tiene ningún efecto sobre el núcleo del mismo, donde realmente radican las fuerzas tremendas. Cuando la energía se libera de

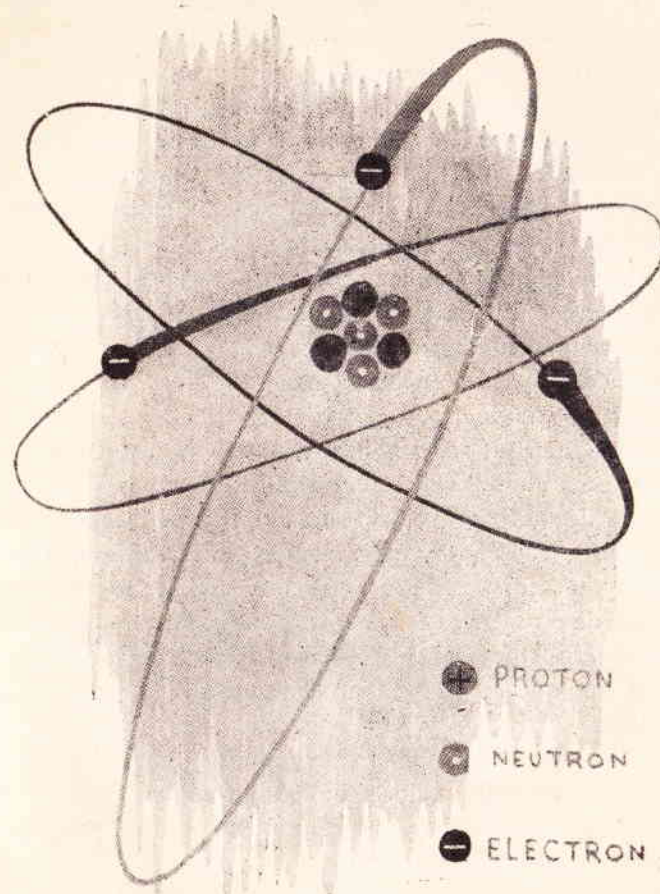
la parte interior del átomo, esa energía es millones de veces mayor que la que se desprende en la combustión. Esto es energía atómica, resultante de la fisión atómica, en vez de la fisión química. La cantidad de materia perdida, cuando el núcleo o centro del átomo se divide, es lo suficientemente grande como para que se la pueda pesar.

En la liberación química de energía al quemar carbón, por ejemplo, sólo unos pocos electrones de la superficie de los átomos cambian de posición. Este cambio desprende de medio cien millonésimo a medio mil millonésimo de uno por ciento de la energía almacenada en el carbón. En la liberación de energía nuclear, o sea la energía contenida en el núcleo del átomo, alrededor de una décima de uno por ciento de la masa del átomo se convierte en energía, o sea veinte millones de veces la cantidad que pierde el átomo de carbón.

Una de las mejores maneras para comenzar a entender la energía atómica es "pensar grande", como suelen decir en algunos pegocios.

Las partículas del átomo mantienen su cohesión merced a tremendas fuerzas eléctricas. Las partículas, denominadas protones y situadas en el centro del átomo, tienen cargas positivas, mientras los electrones, de la capa exterior, tienen cargas negativas. Los protones se conservan unidos en el núcleo a pesar de que todos tienen cargas positivas. Retienen a los electrones negativos de la capa exterior del átomo con la misma energía. A esta energía se la denomina energía coulomb.






Contenido del átomo

Dentro del núcleo del átomo existe una fuerza de cohesión mucho mayor que cualquiera de las tremendas fuerzas eléctricas que mantienen unido al átomo. Tiene que existir semejante fuerza, pues de lo contrario los átomos se desharían solos. Los hombres de ciencia están tratando de determinar de qué clase de fuerza se trata. No es eléctrica, magnética ni gravitacional. Su mejor nombre, por mucho, sería "cemento cósmico".

En las bombas atómica y de hidrógeno, los sabios sólo han logrado liberar una fracción de uno por ciento de esta energía cósmica. Máquinas más y más grandes se están construyendo en un esfuerzo por descubrir la naturaleza de esta fuerza.

A medida que los hombres penetran más y más en el centro del átomo, van comenzando a preguntarse si realmente llegarán alguna vez a un límite. Del mismo modo que los astrónomos que estudian el universo siempre parecen descubrir algo que está más allá de las grandes masas de estrellas cada vez que se hace un telescopio más grande, los físicos nucleares parecen descubrir más y más cada vez que construyen un desintegrador atómico más potente.

El futuro de la labor nuclear podría brindar a todos nosotros una vida mejor y una mejor comprensión de la vida. El futuro del átomo está, como dicen, "para que usted se mire en él".

## ¿Cómo hemos descubierto que los átomos existen?

## Capítulo II

La era atómica, en la cual vivimos y en la cual nuestras vidas van tornándose más y más inherentes a ella, puede decirse que comenzó en 1939, cuando varios científicos de distintas partes del mundo descubrieron que se podía utilizar la energía contenida en el átomo. Pensemos, entonces, que la palabra átomo es relativamente nueva en nuestro vocabulario y que el átomo es algo nuevo que está adquiriendo importancia para nosotros casi en todos los terrenos. Sin embargo, la idea del átomo surgió hace más de veinticinco siglos en la antigua Grecia.

Un filósofo llamado Demócrito, como usted y yo, sintió curiosidad. Si bien conforme con gozar de la naturaleza y observar el sol y los árboles de día, y las estrellas de noche, también se preguntó *por qué* las cosas eran como eran. ¿Por qué causa brillaban las estrellas y el sol? ¿Por qué subía y bajaba la marea del mar Egeo? Demócrito y sus amigos no podían creer que esto fuese exclusivamente obra de un grupo de dioses, demonios y superhombres que ponían las cosas en movimiento, que encendían las estrellas a la hora exacta, que hacían llegar las tinieblas y surgir el sol.





Cuando estos filósofos griegos contemplaban el mundo que los rodeaba, se les ocurrió la idea de que todo estaba en movimiento. Incluso la hoja más pequeña, las escurridizas arenas, el agua de los lagos, los ríos y los océanos, todas esas cosas comunes que aparentemente eran inertes, se movían. Demócrito pensó que todo lo que existe en el mundo, incluyendo a los animales y los seres humanos, estaba compuesto por un sinnúmero de objetos pequeños que producían cambio y movimiento. El cambio, además, parecía desarrollarse en forma ordenada.

Cuando las hojas caían de los árboles, quedaban en la tierra y se volvían marrones. Cuando la nieve de las montañas se derretía, el blanco desaparecía, pero volvía nuevamente a las montañas a intervalos regulares. Después de larga consideración, Demócrito y sus filósofos afirmaron que, contrariamente a la teoría prevaleciente, el cambio constante de todas las cosas se debía al hecho de que estaban construidas por partículas extraordinariamente pequeñas que, mezcladas, como la harina y la leche en una torta, cambiaban su forma. Demócrito creía que si uno pudiese llegar a la partícula más pequeña, encontraría a esa partícula invariable, fuese de roca o agua.

Este antiguo griego expresó sus pensamientos en palabras hace más de veinticinco siglos: "Lo dulce y lo amargo, lo caliente y lo frío, y los colores, son sólo apariencias: en verdad no existe otra cosa que átomos y vacío". El "vacío" era el espacio del universo, en el cual existían los átomos.

Quinientos años más tarde, el poeta romano Lucrecio escribió una obra en verso que intituló "De la Naturaleza a las Cosas". En el poema hablaba de cómo el agua que gotea del techo a una piedra situada abajo, horada la piedra. Hablaba del agricultor que ara su campo con un arado de hierro y de cómo la hoja del arado desaparecía gradualmente después de mucho uso, del mismo modo que la pala se gasta después de palear arena o carbón durante mucho tiempo. Hablaba, también, de estatuas de bronce que se gastaban al contacto de muchas personas que pasaban junto a ellas. Llegó a la conclusión de que partes de la piedra, del hierro y del bronce se desprendían en tan pequeñas cantidades que nadie podía verlas. Por lo tanto, consideró que esas partículas tenían que ser extremadamente pequeñas. "La Naturaleza, fue su conclusión, funciona, en consecuencia, mediante cuerpos invisibles".

Lucrecio llevó este pensamiento sobre las partículas increíblemente pequeñas un paso más allá que los griegos de cinco siglos antes. Imaginó que los pequeños trocitos de hierro que se desprendían del arado, los pedacitos de bronce que se gastaban de las estatuas y las partículas de piedra que el agua llevaba de la roca, estaban unidas originariamente al pedazo grande de material mediante ganchos, como los anzuelos. Estos ganchos, además, eran sumamente resistentes para poder mantener unidas a las pequeñas partículas. Lucrecio explicó que las cosas duras, como la piedra y el hierro, estaban compuestas por partículas de ganchos muy fuertes que las mantenían unidas.



Explicó el agua y los demás líquidos de la misma manera, con la excepción de que las partículas eran más lisas y redondas.

¿Se pensó realmente hace más de veinticinco siglos en el átomo de uranio que fue fraccionado, o fisionado, en 1939? Este antiquísimo concepto del átomo, que tanto se parece a la creencia sostenida y demostrada por los hombres de ciencia de hoy, no aparece seriamente de nuevo en el pensamiento de los filósofos hasta mil quinientos años después de Lucrecio.

Reapareció de pronto, en forma literalmente mágica, en el Renacimiento del siglo dieciséis. Surgió en una especie de ocupación semicientífica denominada alquimia, cuyos principales objetivos consistían en convertir los metales ordinarios en oro y en crear la fuente de la juventud. La búsqueda de estas denominadas fórmulas mágicas se basó, una vez más, en la idea de Demócrito y Lucrecio; la concepción de la tierra y todas las cosas que hay en ella, funcionaban conforme a una ley matemática natural, estando compuestos los materiales propiamente dichos por partículas atómicas.

Los comienzos de la química moderna vinieron cuando el inglés Robert Boyle explicó que la mezcla de materiales distintos formaba una substancia nueva debido a que un tipo de átomo se abría camino hacia otro y se adhería a él. Sir Isaac Newton, en el mismo siglo, añadió fundamento a la teoría de que los átomos se juntaban con otros cuando proclamó la ley de la gravedad. Newton, egresado de la Universidad de Cambridge, en Inglaterra,

y posteriormente profesor de matemáticas en la misma, explicó la relación ordenada de las fuerzas mecánicas en el que, en cierto sentido, quizá haya sido el libro científico más importante de la historia, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica,* o sea lo que ha venido a conocerse como el principio de la mecánica newtoniana. Newton dijo que las fuerzas de la gravedad, la electricidad y el magnetismo ejercen su influencia a grandes distancias. Al mismo tiempo, expresó, pueden existir otras fuerzas, o poderes, en partículas diminutas, que tienen propiedades similares de atracción o repulsión.

La teoría de que esas cosas denominadas átomos realmente existían fue haciéndose más y más plausible. Casi todas las grandes figuras de la ciencia, incluyendo a hombres como Lavoisier y Leibnitz, se inclinaban cada vez más en favor de la teoría de la estructura atómica del mundo.

El químico inglés John Dalton demostró convincentemente en el siglo diecinueve que, cuando los elementos químicos se combinan, tienen que hacerlo en cantidades definidas; en consecuencia, los elementos deben estar formados forzosamente por partículas sumamente pequeñas. Dalton sugirió que los gases, como también los líquidos y los sólidos, estaban compuestos por innumerables átomos. Sólo en los últimos cincuenta años, más o menos, los hombres de ciencia han empezado a determinar cuáles son las fuerzas que mantienen la estructura del átomo en esos conjuntos complicados que se denominan moléculas. En la actualidad, como ya hemos dicho en



el primer capítulo de este libro, día a día se van adquiriendo nuevos conocimientos en cuanto a partículas de los átomos todavía más diminutas y cómo éstas se atraen y se rechazan entre sí.

Si el átomo es tan chico que jamás llegaremos a ver ninguno, ¿cómo es posible que alguien sepa que el átomo realmente existe?

Podemos ver cosas muy chicas con el microscopio, y más chicas aún con el microscopio electrónico. Este último es un aparato sumamente complicado que emplea haces de electrones para formar una "sombra" sobre el objeto que se observa, en forma muy parecida a la ampliación de un trozo sumamente pequeño de película fotográfica proyectándolo sobre una gigantesca pantalla de cine. Sin embargo, el objeto más chico que se puede ver con el microscopio electrónico es una enzima proteica, que está formada por un gran conjunto de átomos reunidos en una molécula.

Los científicos saben, por pruebas indirectas, que los átomos existen. Si usted dispara un revólver sobre un blanco, aunque no pueda ver la bala salir del cañón y llegar a destino, en realidad sabe que lo ha hecho porque la bala que estaba en la recámara ha desaparecido y en el blanco ha aparecido un orificio. Esta es una prueba indirecta.

La burbuja de jabón tiene una película extremadamente delgada que mide de cinco a cincuenta millonésimos de centímetro de espesor. Sin embargo, es una cosa tangible que podemos ver y sabemos que está donde la ve-

mos. A pesar de ser tan fina, sabemos que tiene que estar compuesta por jabón y agua. Por lo tanto, dentro de la burbuja de jabón tiene que haber una mezcla de partículas menores de unos cuantos millonésimos de centímetro de espesor.

La común demostración de laboratorio de cómo el agua se puede fraccionar exactamente en una parte de oxígeno y dos partes de agua, suministra otra prueba indirecta de la existencia de los átomos. Dado que el agua se descompone en forma tan exacta, en una proporción de dos a uno, por fuerza tiene que estar compuesta por pequeños "ladrillos" atómicos, dos de los cuales siempre se combinan con uno de los otros. Si el agua siempre se fracciona en tres partes, tiene que haber tres "porciones" básicas que siempre están en relación de dos a uno.

Otro ejemplo de prueba indirecta de la existencia del átomo es el movimiento browniano. En 1827 el botánico inglés Robert Brown notó que los pequeñísimos granos de polen observados al microscopio tenían un raro movimiento vibratorio. Se trataba del mismo polen que nos hace estornudar. Subsiguientemente Brown y otros científicos observaron que el movimiento también se producía con el polvillo y las partículas de humo. Suspendidas en agua, sin corrientes ni ninguna causa externa de movimiento, las partículas, sin embargo, tenían un movimiento vibratorio, siguiendo una trayectoria sinuosa e irregular, sin ritmo ni razón aparente. Alguna energía tenía que existir en las partículas de agua para poner en movimiento esos diminutos pedacitos de humo y polen.



Por supuesto, cualquiera sea la causa de ese impulso, es demasiado pequeña para que alguien pueda verla. Los hombres de ciencia sabían ahora que esas diminutas partículas de agua estaban compuestas por átomos de hidrógeno y oxígeno y que su acción, y la de las moléculas que formaban, era la que creaba el movimiento.

Otro experimento que demuestra que los átomos tienen que existir consiste en mezclar agua y alcohol. Tómense cantidades iguales de ambos y viértaselas en un recipiente grande. No se obtendrá, como sería de esperarse, un volumen doble. El resultado, en cambio, es que el volumen final es mucho menor que la suma de las cantidades de alcohol y agua que se han mezclado. La explicación estriba en que algunas de las partículas de agua tienen que haberse introducido entre las partículas de alcohol, y en la actualidad se sabe que estas partículas están formadas por átomos de hidrógeno, oxígeno y carbono.

Un sencillo experimento que el mismo lector puede hacer, indica que tiene que existir algo tan increíblemente pequeño como el átomo. El lector sabe cuánto se debe lavar para quitar una mancha de tinta del dedo. Cuando se deja el dedo bajo un chorro de agua en el lavabo, el chorro adquiere coloración azul durante mucho tiempo. Eso significa que tiene que haber una tremenda cantidad de pequeños trocitos de tinta que se van mezclando con toda ese agua.

Tómese una gota de tinta, colóquesela en un vaso chico de agua y revuélvase con una cuchara. El agua adqui-

rirá un tono celeste o gris, dependiendo del color de la tinta. Ahora viértase el contenido de ese vaso en una jarra grande con agua. Todavía se notará un leve tinte celeste en el agua de la jarra. Esto, por supuesto, tiene que significar que en la gota original de tinta había suficiente cantidad de diminutas partículas de color para propagarse a toda la gran cantidad de agua de la jarra.

Si desea proceder con mayor exactitud, como hacen los hombres de ciencia en sus experimentos, deje caer un cristal de un pigmento soluble en agua, más o menos del tamaño de un cabeza de alfiler, en una cucharada de agua, o sea diez mil veces más agua que anilina. Agitê esta solución y viértala en un tacho con treinta litros de agua y agite. Todavía se observará una leve traza de color en el recipiente. Dado que el color se ha difundido en un volumen tan grande, originariamente en ese pedacito de anilina tiene que haber habido una gran cantidad de minúsculas partes, o átomos. Este experimento más exacto demuestra que el trocito de anilina con que se empezó debe haber tenido, por lo menos, trescientos millones de átomos.

Estas son algunas de las pruebas de que el átomo existe. También hay muchas otras que requieren complicados experimentos de laboratorio. Por supuesto, dado que jamás llegaremos a ver el átomo, la prueba tiene que ser indirecta. Indudablemente, es imposible negar la evidencia indirecta del aroma de la cocina cuando mamá hornea un pastel de manzana. No hace falta ver el pastel para saber que está allí.

# El átomo es prácticamente nada

## Capítulo III

Como habíamos empezado a decir al principio de este libro, todo, sea vivo o no, está compuesto por átomos. Los átomos son los ladrillos de la naturaleza, del universo, y son tan pequeños que jamás podremos echarles un buen vistazo. En efecto, es imposible verlos, ni siquiera teóricamente. En la naturaleza se encuentran unos noventidós tipos básicos de átomos.

Lo que hace que un átomo sea distinto de otro es el número de partículas todavía más pequeñas que lo forman. Estas partes del átomo se mantienen unidas merced a fuerzas eléctricas. En sí mismas son tan chicas que el átomo consiste principalmente en espacio solo.

El centro del átomo se llama núcleo y está formado por protones y neutrones. Girando alrededor del núcleo hay otras partículas llamadas electrones, pero éstas se encuentran a gran distancia del núcleo. Si, por ejemplo, los protones y los neutrones tuviesen el tamaño de pelotas de tenis, los electrones estarían a unos cuatrocientos metros del núcleo.

El electrón que gira en torno al núcleo posee una carga eléctrica negativa y es mantenido en su trayectoria por





el protón que está en el núcleo, cuya carga eléctrica es positiva. El neutrón, por otra parte, como su nombre lo implica, es de carga neutra. Carece de carga eléctrica y no hace otra cosa que estar en el núcleo junto con el protón, sumando su peso al del átomo. Los protones y neutrones pesan dos mil veces más que el electrón. Por lo tanto, más del noventinueve por ciento del peso del átomo está concentrado en el núcleo.

Si se coloca un trozo de hoja de estaño frente a un pedazo de uranio, parte de lo que sale del uranio atraviesa la lámina de estaño. Para que esto suceda, en la hojilla de estaño aparentemente sólida, tiene que haber espacios por los cuales pasan los átomos. Podemos pensar que la lámina es como un tamiz. Algunas de las partículas se detienen porque por casualidad chocan con un núcleo o una parte sólida de la hoja de estaño, pero muchas siguen de largo porque existe un amplio espacio entre cada núcleo de la lámina de estaño y los electrones que lo rodean.

Cuando el átomo se fracciona, este núcleo pesado se corta más o menos en dos y se desprende una enorme cantidad de energía. A esto se denomina energía atómica o, con mayor propiedad, dado que la energía es liberada por el núcleo del átomo, energía nuclear. Esta es la fuente primaria de la energía del mundo y del universo.

El reactor nuclear, u horno atómico, pone en libertad energía en forma de calor al quebrar continuamente los núcleos de los átomos de uranio. Este calor puede hacer hervir agua o convertirla en vapor para hacer funcionar

una turbina de vapor. Esto es lo que se llama fraccionamiento atómico controlado.

Fracciónense miles de millones de átomos a un mismo tiempo y se producirá un "incendio" atómico, la bomba atómica. Utilícese el tremendo y súbito calor de la bomba atómica para unir, o combinar, los átomos de hidrógeno, y se tendrá la bomba de hidrógeno. A esto se llama reacción termonuclear, porque el calor actúa sobre los núcleos.

Debido a que la energía almacenada en el núcleo del átomo es tan grande, se necesitan enormes máquinas para romper el átomo y poner en libertad la energía. El ciclotrón es una de las máquinas que se emplean para estudiar el núcleo del átomo.

Como hemos dicho en el primer capítulo, una fuerza inmensa concentra el material en el centro del átomo como una especie de cemento cósmico, fuerza tan grande que casi está fuera del alcance de la comprensión y el entendimiento. Si se recoge un puñado de nieve y se lo apelmaza, formando una bola dura, se está aplicando en ella una fuerza que la mantiene unida. Este es el tipo de unión que existe en el centro del átomo, donde los protones y neutrones están comprimidos en forma tan densa que, si este núcleo tuviese el tamaño de una moneda de veinte centavos, pesaría millones de toneladas.

A la división del átomo, aproximadamente en dos partes iguales, se la denomina fisión. El uranio y el plutonio, substancia esta última que ha sido hecha artificialmente



por el hombre, son dos materiales cuyos átomos se pueden dividir.

Radiactividad de un átomo y fraccionamiento del núcleo de un átomo son dos cosas diferentes. La radiactividad produce radiación, que es un subproducto de los cambios nucleares. Estas radiaciones son "astillas" nucleares. La energía se libera. La radiactividad no se puede detener.

Ciertos materiales, como el uranio y el radio, son radiactivos. Estos materiales lanzan corrientes de radiación conocidas como partículas alfa, partículas beta y rayos gamma. La partícula alfa no es capaz de atravesar una hoja de papel del espesor de esta página, pero para detener un rayo gamma se puede precisar un metro ochenta de acero. De ahí por qué se necesitan pesadas corazas en las máquinas nucleares. Si no se adoptase esta precaución, los glóbulos rojos de la sangre se destruirían al ser expuestos a los rayos.

Estos son algunos de los hechos que comenzaron como sueños y cuya realidad probó después el ingenio de los científicos.

El átomo, como hemos dicho, consiste principalmente en espacio vacío, con un núcleo central y partículas denominadas electrones, que giran en torno al núcleo. Se podría concebir el átomo de la siguiente manera:

Digamos que el lector se encuentra en el salón de actos de una escuela. Sobre su cabeza, en el centro del local y suspendida en el aire, hay una bola sólida de plomo, del tamaño de una pelota de ping-pong. La bola

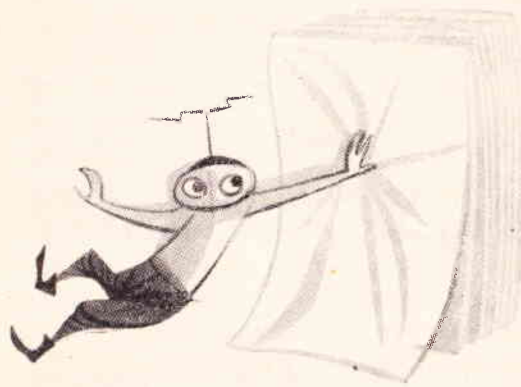
de plomo es el núcleo del átomo imaginario y consiste en un protón. Ahora ate un hilo a una pelota de ping-pong y suba a una escalera hasta que se encuentre junto a la bola. Si logra hacer girar a su alrededor la pelota hasta que llegue a la pared de la sala, será como un electrón.

Ahora usted se encuentra dentro de un átomo sencillo, el de hidrógeno. Por supuesto, en un átomo de hidrógeno de verdad no hay ningún hilo entre el protón del núcleo —representado por la bola de plomo y el electrón— o sea la pelota de ping-pong. En cambio, el electrón rota alrededor del núcleo-protón retenido por la electricidad. De la misma manera que se deben conectar los polos positivo y negativos de una batería con el motor o una luz para hacerlos funcionar, los lados positivo y negativo del átomo están conectados para que éste funcione. El protón es el polo positivo y el electrón el polo negativo.

Ahora imaginemos que el lector agregase en su átomo imaginario una gran cantidad de bolas a la que está en el centro del salón, y muchas pelotas más de ping-pong unidas con un hilo cada una. La demostración sería mucho más pesada y usted se encontraría, digamos, en el centro de un átomo de hierro. Si colocase 237 bolas de plomo en el grupo central y 91 pelotas de ping-pong girando alrededor, estaría en el centro de un átomo de uranio.

En la radiactividad de elementos como el uranio y el radio tiene lugar una serie continua de minúsculas explosiones que comprenden la pérdida o la adición de partículas cargadas eléctricamente, o "astillas", y, como resultado, las partículas alfa y beta y los rayos gamma son lanzados fuera del átomo. Estas partículas y rayos abandonan el átomo a velocidades que varían de 24.000





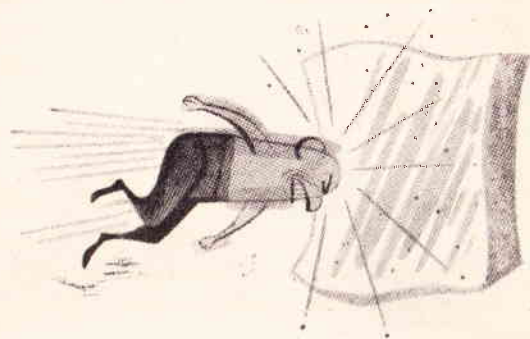
Quinientas hojas de papel detienen una partícula electrónica

kilómetros por segundo a una muy próxima a la de la luz, o sean unos 30.000 kilómetros por segundo.

Las partículas alfa no llegan muy lejos y se las puede parar, como hemos dicho, con una hoja de papel. Las partículas beta son electrones de alta velocidad y llegan más lejos. Los rayos gamma son un subproducto de las pequeñas explosiones y reajustes que ocurren dentro del átomo y son "astillas" de energía que atraviesan una pared de ladrillo. Son iguales que los rayos X. Debe acla-

rarse que radiactividad y fraccionamiento del átomo, propiamente dicho, no son la misma cosa.

Después de algunos cientos de millones de años de radiación, los átomos de uranio reajustan su estructura y, finalmente, se convierten en plomo, a medida que el



Se requieren cinco centímetros de plomo para parar un rayo gamma

uranio "se va agotando" lentamente y pierde sus cargas eléctricas.

Cuando un hombre de ciencia piensa en átomos, él, como usted y yo, debe imaginarlos en una escala mayor. Tiene que relacionarlos o compararlos con cosas más tangibles con el fin de comprenderlos y explicarlos.

Sabemos, entonces, que el átomo es el ladrillo básico del universo. En su mayor parte es espacio con un núcleo tremendamente pesado, compuesto de protones y neutrones. Los electrones giran alrededor del núcleo, habiendo



un electrón por cada protón. El hidrógeno tiene un protón y un electrón. El uranio tiene noventidós protones y noventidós electrones. En los núcleos de estos átomos hay cantidades variables de neutrones, que dan mayor peso a los átomos. Cada protón tiene una carga eléctrica positiva con el fin de retener a cada electrón cargado negativamente, pero el neutrón carece de carga eléctrica. Cuando una substancia es radiactiva, es inestable y emite partículas alfa y beta, y rayos gamma.

Si bien la idea del átomo no es cosa muy nueva, no fue sino hasta 1932 cuando el científico británico James Chadwick finalmente identificó, sin lugar a dudas, al neutrón, esa parte del núcleo atómico que posibilita el fraccionamiento del átomo. El lector comprenderá, por lo tanto, que el estudio del núcleo mismo es un tema bastante nuevo.

El átomo es prácticamente nada. Nadie lo ha visto jamás ni nunca podrá verlo. Se podría amontonar mil millones de átomos sobre la cabeza de un alfiler y todavía sobraría espacio. Cien millones de átomos dispuestos en fila apenas si medirían dos centímetros y medio.

# Una «reacción en cadena» histórica

## CAPÍTULO IV

EL 25 de enero de 1939 era un día ideal para una sopa caliente en Nueva York. Los estudiantes de la Universidad de Columbia, situada en la alta loma que domina la ciudad, se tapaban las orejas con los cuellos de los sobretodos cuando marchaban presurosos de un aula a otra en los diversos edificios del campo universitario. En el comedor del club de la Facultad de Columbia, donde almuerza la mayoría de los profesores y maestros, dos hombres conversaban en voz baja mientras tomaban la sopa. Uno de ellos era un científico italiano que ya gozaba de renombre mundial. El otro era un joven profesor adjunto de Física que había llegado a la Universidad procedente de Nebraska.

Una semana antes un grupo de hombres de ciencia, reunido en la Universidad de Princeton, en Nueva Jersey, fue asombrado por una disertación del distinguido científico dinamarqués Niels Bohr. Los hechos que el doctor Bohr narró concernían a un experimento que habían realizado en Alemania durante el otoño de 1938 dos físicos alemanes, Otto Hahn y Fritz Strassman. El experi-





mento se relacionaba con el uranio, substancia derivada de la pechblenda.

El metal raro, uranio, era conocido desde muchos años. Allá por el año 1896, en París, Henri Becquerel había hecho un descubrimiento sobre el uranio gracias al mal tiempo. En esos días se utilizaban placas fotográficas, en vez de película, y se descubrió que el uranio, cuando se lo exponía un rato al sol para después dejarlo en un cuarto obscuro cerca de una placa fotográfica, producía una imagen difusa en la placa, o, como decimos, "velaba" la película. Becquerel tenía un trozo de uranio guardado en un cajón esperando que hubiera sol para poder seguir adelante con su experimento. Sin embargo, por casualidad, en el mismo cajón había placas fotográficas.

Después de unos días de tiempo nublado, Becquerel sacó del cajón el uranio y las placas. Reveló éstas y quedó atónito al encontrar que se habían "velado" lo mismo, a pesar de que el uranio había sido envuelto en varias capas de papel y guardado en un recipiente de plomo. Esto probó que era el metal uranio mismo, y no la combinación de luz solar y uranio, el que había velado las placas.

Otras personas comenzaron a estudiar este nuevo efecto extraño denominado radiactividad. Pierre y Marie Curie figuraron entre ellas. En 1898 los esposos Curie dieron con otro metal raro, el torio, que también era radiactivo. Mediante procedimientos químicos los Curie descubrieron dos nuevas substancias, el polonio y el radio, siendo ambas mucho más radiactivas que el torio o el uranio. El radio, entonces, fue objeto de grandes estudios en re-

lación con el extraño nuevo tipo de rayo que emitía. Comenzó a ser utilizado en el tratamiento del cáncer.

Durante muchos años los hombres de ciencia han venido empleando radio en sus experimentos. En Berlín, Alemania, en septiembre de 1938, los profesores Otto Hahn y Fritz Strassman hacían precisamente eso. Utilizaban radio para lanzar sus rayos misteriosos sobre un pedacito del metal raro llamado berilio, el cual, a su vez, producía neutrones de alta velocidad. Así se les ocurrió bombardear una motita de uranio con esos neutrones, sólo para ver qué sucedía.

Lo ocurrido no habría parecido demasiado importante para quien no fuese un científico avezado.Cuando ambos analizaron el resultado de su experimento, encontraron que, además del uranio, que había sido colocado en un recipiente, también había una substancia denominada bario. Los doctores Hahn y Strassman reconocieron el bario al verlo, pero no se les ocurrió cómo pudo haber llegado allí. Era como si uno preparase chocolate y descubriera nueces en el fondo, sin que hubiese aparentemente ninguna manera de que las nueces pudieran llegar allí.

Los dos alemanes probaron el bario y encontraron que también él era radiactivo. Era como si las nueces del fondo del chocolate brillasen en la oscuridad. Este sí que fue un resultado emocionante.

Lise Meitner, científica que había huído del hitlerismo, también se entusiasmó con el experimento y acudió



a Copenhague, donde lo comunicó al doctor Niels Bohr y a su colega Otto R. Frisch.

La suerte quiso que pocas semanas después el doctor Bohr viajara a los Estados Unidos y a Princeton. Su relato sobre el ahora famoso experimento alemán centraló la atención de los hombres de ciencia reunidos allí.

Esto era lo que el joven profesor de Nebraska, doctor John R. Dunning, y el famoso científico italiano, doctor Enrico Fermi, comentaban cuando tomaban la sopa.

Si se había formado bario bombardeando uranio con neutrones, existía la posibilidad de que el uranio se hubiese partido aproximadamente por la mitad. En este caso, si el uranio se había roto, debían haberse desencadenado cantidades enormes de energía. Este hecho había sido una definida posibilidad durante mucho tiempo y los escritores científicos usaban muchas veces la siguiente frase: "la energía almacenada en una moneda de cinco haría volar la ciudad de Nueva York".

El doctor Albert Einstein había adelantado esa posibilidad en 1905. Sostenía que cuando uno destruye algo completamente y deshace el átomo, crea energía. Cuando uno quema un fósforo, los destruye, en cierto modo. El material con el cual está hecho el fósforo se combina con otras cosas y desprende energía en forma de calor. Lo que el doctor Einstein tenía en mente no era la creación de esta clase de energía mediante la combustión, sino la liberación de una tremenda energía rompiendo de alguna manera los átomos del fósforo.

La diferencia es la siguiente: raspe un fósforo y ten-

drá suficiente calor para encender una vela o incendiar un campo. Destruya el fósforo, átomo por átomo, y liberará calor suficiente para derretir toda la nieve de los Alpes suizos.

El doctor Einstein desarrolló su teoría y la redujo a una fórmula, la fórmula matemática más importante del mundo. Es ésta: energía es igual a masa por el cuadrado de la velocidad de la luz, o sea $E=mc^2$. La velocidad de la luz es de 300.000 kilómetros por segundo. Si usted emplease esta fórmula, descubriría que un puñado de arena contiene teóricamente una energía acumulada capaz de suministrar corriente eléctrica a la ciudad de Nueva York un año entero.

Así, en enero de 1939, todos los científicos que se interesaban en el átomo y en la posibilidad de aprovechar la energía atómica, se acostaban de noche pensando en el extraño resultado del experimento realizado en Alemania. ¿Significaba realmente que se había roto el átomo de uranio?

Los dos hombres que almorzaban se separaron. El doctor Fermi se dirigió a Washington para asistir a una conferencia ese 25 de enero de 1939 por la tarde, mientras el doctor Dunning regresó a su laboratorio para seguir pensando en el problema del fraccionamiento del átomo, o fisión atómica. Dunning, Fermi y sus colegas ocupaban una dependencia en el sótano de Pupin Hall, en Columbia, donde habían instalado una máquina para medir la radiación que emitían ciertas substancias como el uranio. La salita era pequeña y estaba llena de cosas.



Bajo el cielorraso pasaban las cañerías de vapor. En el medio del montón de cosas, sobre una mesa, estaba la máquina. Parecía una pila de cubos para niños conectada con un viejo receptor de radio y otro pequeño de televisión, dotado de una pantalla grisácea y redonda, demasiado chica para ver siquiera un encuentro de box sin agudizar la mirada.

Esta máquina maravillosa había sido armada por los científicos en base a presunciones. En verdad, cuando se es precursor en ciencias, uno imagina lo que desea hacer y después inventa la máquina y reúne los materiales con los cuales construirla. Este aparato, que tan importante habría de ser para la historia del mundo, no era la excepción. Contenía un surtido de válvulas de radio, varias tortas de parafina, cables y otros accesorios eléctricos.

Los doctores Dunning y Fermi habían planeado el experimento, con la excepción del tipo de compuesto de uranio que usarían. El doctor Dunning meditaba sobre esto a eso de las seis de la tarde, cuando se ponía el sombrero y emprendía camino de su casa para cenar con su esposa en el departamento que ocupaban en Claremont Avenue, a tiro de piedra del laboratorio.

Esa noche fría y ventosa, después de cenar, el doctor Dunning volvió al pequeño laboratorio. Allí decidió emplear un pedazo de óxido de uranio para el experimento. Junto con él, en el laboratorio, estaban los doctores Eugene T. Booth, del departamento de física de Columbia, y F. G. Slack, de la Universidad de Vanderbilt. Los tres inspeccionaron la máquina: la pila de cubos, el receptor

de radio y el de televisión. En términos sencillos, esta máquina consistía en un recipiente para un compuesto de radio-berilio, una pequeña cámara para el óxido de uranio, un amplificador y, por último, la pantalla en la cual se podría observar en forma de pequeñas líneas la actividad de la cámara de uranio.

La misma sensación de intranquilidad que se experimenta al largarse una carrera de natación, o el primer día que uno va a la escuela, embargaba a los tres hombres. Para muchos la perspectiva les habría parecido sumamente aburrida y complicada. Sin embargo para un físico de 1939 era emocionante, como si uno de pronto viese que es capaz de hacer una nave del espacio que funcione, utilizando tres latas y una cáscara de naranja. Como muchos otros científicos, estos tres hombres habían estudiado el átomo y sus propiedades durante mucho tiempo y sabían, por supuesto, que si se encontraba la forma de romper el átomo de alguna manera, se liberaría una enorme cantidad de energía, energía muchas veces mayor que la lograda jamás hasta entonces.

Si bien muchos de los grandes acontecimientos científicos mundiales se han producido por casualidad (recuérdese cómo Goodyear dejó caer accidentalmente un poco de caucho natural sobre una cocina caliente e inició la industria de la goma), este experimento iba dirigido a un resultado específico. Los doctores Dunning, Booth y Slack estaban sobre la pista.

Imaginemos una pequeña sala en un sótano, repleta de toda clase de aparatos. Dos hombres de guardapolvo blanco (el doctor Dunning en traje marrón) inspeccionando y volviendo a inspeccionar los cables de lo que parece ser un receptor de televisión sin mueble. El doctor Dunning toma un pequeño disco chato, más o menos del tamaño de medio dólar, pero delgado como estaño en hoja, y cuidadosamente lo deposita en un recipiente de metal colocado profundamente dentro de los cubos de parafina. Otros bloques de parafina se ponen con sumo cuidado sobre la entrada. Seguidamente se introduce en otra abertura, situada a la derecha de los bloques y junto al uranio, un recipiente de plomo montado en una larga varilla metálica. Éste, del tamaño de una lata de sopa de tomate, contiene una mezcla radiactiva de radio que emite corrientes constantes de rayos que pueden ser dañinos para los seres humanos. De ahí la larga varilla de metal.



El doctor Dunning enciende el amplificador y el osciloscopio, o sea la pantalla de televisión. Los tres esperan que el experimento fracase. En el centro de la pantalla hay una línea ondulante verde brillante que corre a través del círculo. Las ondas radiactivas ordinarias del uranio hacen aparecer rayitas verdes en distintas partes de la pantalla. Las líneas están, pero no se ve ninguna otra cosa interesante. El doctor Dunning mueve la larga varilla de metal, en cuyo extremo está el recipiente de radio, para colocarla en su debida posición. Los ojos de los científicos se agrandan de expectativa. Allí, en la pantalla, aparecen largos trazos verdes verticales, además de las líneas. Los trazos, intensamente brillantes, dan un efecto tridimensional, pareciendo salirse de la pantalla.

Ningún hombre en la tierra había visto jamás una cosa así. También el doctor Dunning estalla de entusiasmo. Boot y Slack se acercan a la pantallita verde.

—Esto parece ser lo que buscábamos —dice el doctor Dunning. Pero entonces comienza a dudar. ¿La máquina no tendrá un defecto? La revisan y vuelven a revisarla.

—Usted ha trabajado en esta máquina durante meses —dice Booth— y sabe que está bien.

Introducen una placa metálica entre el radio-berilio y el uranio. Los grandes trazos cesan. Quitan la placa. Los trazos verdes brillantes reaparecen. Esa noche, a las nueve, los tres coinciden en que la liberación de energía atómica es casi sin duda una realidad.

Sin embargo, deciden no dar a conocer su asombrosa prueba hasta que el experimento sea comprobado también por el doctor Fermi y otros miembros de los departamentos de ingeniería y ciencias de la Universidad de Columbia. Debe recordarse que había muchos hombres de ciencia en el país que trabajaban en este problema.

El doctor Dunning vuelve a su oficina solo y comienza a calcular la cantidad aproximada de energía desprendida cuando el uranio se fracciona, o se fisiona, y llega a una sorprendente conclusión.

¡Los científicos, esa noche, comprobaron que se liberaba entre 120 ó 200 millones de electrovoltios! Cuando la gasolina estalla o arde, desprende de uno a cinco electrovoltios de energía. El doctor Dunning dejó el lápiz, fue a buscar su abrigo y su sombrero, apagó la luz de la oficina y echó a andar seriamente hacia su casa por las calles desiertas y azotadas por el viento.



Veamos, a grandes rasgos, qué había ocurrido en el experimento de esa noche. El radio, como sabemos, es radiactivo. Desprende partículas alfa. Las partículas alfa del radio bombardeaban el berilio, produciendo carbono común y "balas" de neutrones rápidos. En ese aparato se producían unos diez millones de neutrones por segundo que se propagaban en todas direcciones. Sin embargo, estos neutrones eran demasiado veloces para que pudieran capturarlos los átomos de uranio que estaban al lado, por lo cual se hizo necesario frenarlos. Esto se logró con los bloques de parafina. Los neutrones fueron retardados de modo que, cuando llegaban al compuesto de uranio, chocaban con los átomos de uranio y los rompían. La ruptura producía bario, partículas beta, rayos gamma, nuevos neutrones y enormes cantidades de energía.

La explosión atómica resultante era captada entonces sobre una placa metálica, y la liberación de energía se registraba en el osciloscopio, o pantalla de televisión, en forma de gigantescas líneas que aparecían verticalmente.

Después de este experimento en el laboratorio de la Universidad de Columbia, que demostró que el átomo de uranio se podía partir con una tremenda liberación de energía, se inició una serie de investigaciones en energía atómica en distintas partes del país. Los que siguieron trabajando en Columbia estaban bajo la dirección del doctor Harold C. Urey, premio Nóbel, y del doctor Geor-

ge Pegram, administrador de los departamentos científicos de Columbia. Posteriormente estos trabajos habrían de conocerse como el famoso Proyecto Distrito Manhattan.

Dos grupos de científicos e ingenieros comenzaron a seguir dos caminos distintos de investigación sobre las propiedades del átomo y su núcleo.

Sabiendo que había dos clases de átomos de uranio, sumamente difíciles de separar, los doctores Dunning y Booth decidieron determinar qué clase de átomo de uranio se dividía con mayor facilidad. Sabían que el átomo de uranio U 238 abundaba ciento cuarenta veces más que el U 235. Con el fin de poder decir cuál de ellos era mejor con fines de fraccionamiento, debían hacer una muestra de cada uno. El doctor A. O. Nier, de la Universidad de Minnesota, hizo una importante contribución logrando producir un cien millonésimo gramo de uranio 235 concentrado. Esta minúscula cantidad de U 235, tan difícil de preparar, fue probada por Dunning y Booth, quienes encontraron que se podía fraccionar fácilmente.

Habiendo determinado los doctores Dunning y Booth, de Columbia, que el U 235 era el material que buscaban, iniciaron su propia investigación en cuanto a la mejor forma de preparar el uranio 235. El problema radicaba en obtener U 235 en grandes cantidades. Habiendo el doctor Nier tardado un año para producir un cien millónésimo de gramo, la perspectiva de preparar rápidamente mucho U 235, en cantidades de kilos, parecía bastante escasa.



Un hombre de ciencia calculó que para hacer 900 gramos de U 235 de pureza suficiente se demorarían sesenta mil años.

Un grupo de científicos que trabajaba con el doctor Ernest O. Lawrence en la Universidad de California, dio la respuesta hacia fines de 1941. Revelaron que el U 238, al absorber un neutrón, tórnábase en una cosa que ya no era uranio sino una nueva substancia que sus descubridores, los doctores McMillan y Seaborg, denominaron plutonio. El plutonio resultó tan fácil de dividir como el uranio 235 y, lo que era más, se lo podía separar fácilmente del uranio 238 mediante procesos químicos comparativamente sencillos. Así, en 1942, el grupo californiano comenzó a idear la forma de producir plutonio en grandes cantidades. Sus estudios condujeron a la instalación de la planta de Hanford, Washington, para la producción de plutonio.

Si bien existían varios procedimientos posibles para fabricar U 235, el grupo Dunning-Booth, frente a muchos obstáculos y al escepticismo general, eligió el método de la difusión gaseosa para separar la pequeña cantidad de U 235 de la gran cantidad de U 238. Como su nombre lo indica, este proceso requería la transformación del uranio metálico en gas, para después difundirlo sobre una amplia superficie y recoger las partículas de U 235. El flúor, la misma substancia de la cual los dentistas hablan muchas veces cuando se refieren a la forma de impedir que se caigan los dientes, se combina con el uranio para formar hexafluoruro de uranio. Esta substancia es

muy potente y capaz de corroer el vidrio. De ahí que los problemas que plantea su almacenamiento son grandes. Pero fueron resueltos.

El uranio y el flúor, en su forma gaseosa, se bombean a presión introduciéndolos en un tanque que está dividido por un tabique poroso, a modo de cedazo, que tiene miles de millones de orificios por centímetro cuadrado. Las moléculas gaseosas de U 235 (o sea la combinación de átomos de uranio con los de flúor) son levemente más livianas y, por lo tanto, se desplazan con un poco más de rapidez que las moléculas de U 238. Las moléculas de U 235, por ser más livianas, tienen más probabilidad de pasar por las diminutas aberturas de la pared que hace de tamiz. Debido a que la cantidad de U 235 que atraviesa el tabique que divide al tanque es mayor, del otro lado del mismo el gas contiene un poco más de U 235 que de U 238. Seguidamente el gas se bombea a través de otra barrera repleta de diminutos agujeros y su proporción de U 235 aumenta todavía más. Si se sigue bombeando el gas a través de tanques sucesivos construidos de la misma manera, eventualmente el hexafloururo contiene principalmente U 235. Al final del largo proceso, el uranio 235 se puede separar una vez más del flúor y se obtiene un átomo de U 235 que se fracciona fácilmente y puede servir para hacer una bomba atómica o la materia prima para una planta de energía eléctrica.

El grupo de la Universidad de Columbia construyó una planta de difusión gaseosa de doce etapas sobre una mesa de laboratorio. Este aparato recibió el nombre de Planta



Piloto Nº 1 para la gran planta de difusión gaseosa que cubrió muchas hectáreas en Oak Ridge, Tennessee. En vez de producir un cien millonésimo de gramo, esta planta de Oak Ridge fabricó kilos de U 235. Fue un milagro de ingeniería basado en los descubrimientos de laboratorio de los hombres de ciencia que trabajaban en el Proyecto Distrito Manhattan.

# El horno atómico

## Capítulo V

Mientras un grupo de científicos trabajaban para producir uranio 235, otro grupo, dirigido por el doctor Enrico Fermi, comenzó a trabajar en la construcción de un horno atómico que suministrase una reacción en cadena de átomos de uranio, que se mantuviese a sí misma, en una pila atómica. Este era el objetivo primordial. Sin embargo, mientras los neutrones que chocaban con el U 235 rompían los núcleos desprendiendo energía, otros neutrones, que chocaban con el U 238 del uranio, producían plutonio, el cual se podía fraccionar con la misma facilidad que el U 235, de modo que al mismo tiempo se podía obtener este último.

En el grupo del doctor Fermi figuraban el doctor Leo Szilard, el doctor Walter H. Zinn, Herbert L. Anderson y varios más.

En el verano de 1941, una vez más en la Universidad de Columbia, pero esta vez en el sexto piso del mismo edificio en que se investigaba el proceso de difusión gaseosa, el grupo Fermi-Szilard construyó una gran pila experimental de grafito y uranio. Al hacerse demasiado grande para el laboratorio en el cual se la empezó, la pila fue





reconstruida en otro edificio del campo de Columbia que ofrecía más espacio. Este fue el primer horno atómico que se haya construido jamás y sirvió de modelo para todos los reactores atómicos instalados desde entonces.

Recuérdese que hasta 1940 los experimentos sobre el fraccionamiento del átomo de uranio se habían hecho con unas pizcas de uranio. Casi todo los científicos del mundo sabían que esto se podía hacer, y sabían también la tremenda cantidad de energía que esta fisión habría de desencadenar.

El doctor Enrico Fermi y los demás científicos e ingenieros que actuaban en el Proyecto Distrito Manhattan, dedujeron que se podría construir un horno atómico en el que se desarrollase una reacción en cadena.

La reacción en cadena podría explicarse con una serie de trampas para ratones, colocándolas en forma de pirámide en una mesa. Comience con una y luego agregue dos, cuatro, ocho, dieciséis, treintidós, y así sucesivamente. Imaginemos que la primera trampa sea un átomo de uranio. Se fracciona y emite dos neutrones. Éstos golpean los dos átomos siguientes, los cuales, a su vez, liberan dos neutrones cada uno, de modo que los cuatro neutrones resultantes rompen a su vez cuatro átomos, y así sucesivamente. De esta manera, en esta reacción en cadena todo el grupo de trampas salta en forma prácticamente instantánea. Empleando uranio, toda la masa reacciona en menos de un millonésimo de segundo, produciéndose

una explosión. Esta es la reacción en cadena incontrolada de la bomba atómica.

En términos de potencia, 450 gramos de uranio tienen una fuerza explosiva que iguala o supera la de 20.000 toneladas de TNT (trinitrotolueno). Si se pudiese liberar esta tremenda energía en forma paulatina, 450 gramos de uranio producirían una energía equivalente a doce millones de kilovatios hora, o sea una cantidad de corriente eléctrica para atender a la ciudad de Nueva York un día, o iluminar una noche todas las casas de Nueva Inglaterra.

Se descubrió que, para poder crear una reacción en cadena controlada de uranio en fisión, era necesario emplear uranio purísimo. Este uranio desprende corrientes de neutrones muy rápidos. Son tan rápidos que muy pocos de ellos chocan con los núcleos de los demás átomos del uranio y la reacción continua no se produce. Por lo tanto es menester retardar los neutrones como si fuera a paso de hombre, para que puedan ser capturados fácilmente por otros átomos de uranio para romperlos a su vez, continuando lentamente la reacción en cadena. Los neutrones son muy caprichosos e independientes. Tienen gran velocidad y, una vez lanzados, son capaces de dirigirse casi a cualquier parte, menos a otro átomo de uranio, a menos que se los frene.

Algunas substancias, como el helio y el carbono, frenan los neutrones de uranio. El grupo de Columbia optó por el carbono porque era el material más fácil de fabricar en grandes cantidades y con suficiente pureza. También



se determinó que los trozos de uranio se debían colocar a ciertos intervalos entre los de carbono, de modo que los neutrones fuesen retardados sólo en la medida necesaria y, por supuesto, los pedazos de carbono debían tener cierto tamaño.

Otro problema era la dimensión para construir la pila de uranio y carbono de modo que los neutrones no escapasen al espacio exterior. Si en una pila atómica escapan más neutrones de los que se capturan, el proceso de fraccionamiento se detiene. La pila atómica debía ser suficientemente grande para que los neutrones de uranio no escapasen. Toda pila átomica tiene que ser mayor que el tamaño "crítico". Un radiador doméstico de vapor tiene una superficie lo suficientemente grande como para irradiar la mayor cantidad de calor posible. Si se tratase de un tanque esférico, la mayor parte del calor quedaría adentro. La pila atómica tiene que ser una superficie mínima para que el calor *se quede* adentro.

Para dar una idea más acabada del tamaño crítico y su importancia, pensemos qué ocurre cuando se hace un fuego común en la chimenea o al descubierto. La llama se puede encender perfectamente con un fósforo, pero si no hay suficientes palitos el fuego se apaga. Igualmente uno puede saber que el fuego de la chimenea se apagará si no tiene más de dos o tres troncos. Hablando en términos generales, si hubiese cuatro o cinco troncos, con suficiente ventilación entre ellos, el fuego ardería mejor.

Usted habrá oído hablar, aunque quizás no la haya visto, de lo que se denomina combustión espontánea, o sea

cuando el fuego se enciende solo sin aplicarle un fósforo. Eso sucede cuando un montón de estopa impregnada en aceite, de tamaño exactamente adecuado, absorbe la cantidad de fuego necesaria.

En el "fuego" atómico, la pila de carbono y uranio tiene que tener el tamaño exacto, pues de lo contrario no quemará debidamente cuando le aplique el fósforo. El fósforo del fuego atómico es el neutrón.

Cuando los científicos determinaron por último qué se necesitaba para construir una pila atómica, plantearon algunos problemas realmente engorrosos.

Hasta entonces, como hemos señalado, sólo había en el mundo entero unos pocos gramos de uranio metálico. Para construir un reactor se necesitaban unos cuantos cientos de kilos de uranio. Además, era esencial contar con toneladas de carbono puro.

El carbono de pureza suficiente se podía fabricar. La preparación de uranio metálico, sin embargo, constituia un problema trascendental, pero gradualmente se lo fue resolviendo.

En uno de los laboratorios de Columbia se comenzó a trabajar en una pila de carbono y uranio del tamaño y cantidad exactos. Dado que la pila no requería el difícil de fabricar U 235, sino más bien uranio metálico puro con U 235 y U 238, se refinó suficiente uranio metálico para ese fin. El grupo del Distrito Manhattan la fue construyendo, ladrillo por ladrillo, hasta que llegó al techo del laboratorio. Las pruebas demostraron que se necesitaba un local aún más amplio con el fin de que la pila



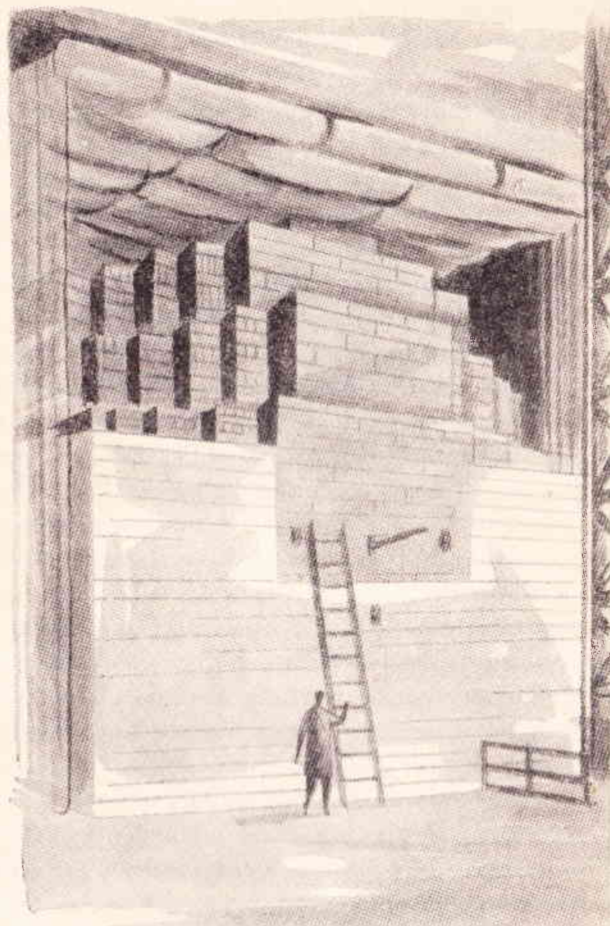
fuese lo suficientemente grande. Si escapaban demasiados neutrones sería imposible establecer la reacción en cadena.

Por razones tanto de seguridad como de espacio, el grupo entero se trasladó a Chicago, Illinois, con sus maletas, equipaje, uranio, carbono y todo lo demás. Allí se instalaron en un patio de aplanadoras situado bajo las gradas de Stagg Field, campo de la Universidad de Chicago que se utilizó hasta 1939 para partidos de fútbol. El patio medía nueve metros de ancho por dieciocho de largo y unos nueve de altura.

Los científicos habían construido varias pilas más pequeñas en Columbia y calculado la dimensión aproximada de la pila que deberían hacer con el fin de conseguir una reacción en cadena. Fueron erigiendo la pila con lentitud y mucho cuidado. Muchas veces parecían mineros de carbón, debido al carbono.

Una cosa importante era no dejar que la pila se pusiera fuera de control. En ese caso el sitio volaría o el territorio de las cercanías podría volverse tan radiactivo que no quedaría un ser vivo en un radio de varios kilómetros. A pesar de todos los cálculos que hiciesen los científicos, esta amenaza siempre quedaba en pie. De vez en cuando circulaban versiones de cómo se podía desatar una reacción en cadena que hiciese estallar literalmente el planeta. En este caso no se llegaba a este extremo, pero hizo que los que trabajaban en esa pila atómica se detuvieran a meditar.

Debido a la urgencia con que los científicos pusieron



La primera pila atómica construida en el patio de aplanadoras de Chicago, tenía este aspecto



manos a la obra para construir la pila atómica, no se hicieron planos ni diseños arquitectónicos. Calcularon que la pila debía tener aproximadamente la forma de una bola de unos ocho metros de diámetro y la montaron sobre tacos de madera. Esta complicada pila de uranio y carbono fue construida en seis semanas.

Si bien el carbono retarda el desplazamiento de los neutrones de un átomo de uranio al siguiente, el metal cadmio absorbe los neutrones. Como medida de precaución, por si los cálculos resultasen leve y desastrosamente erróneos, se introdujeron varias varillas de cadmio metálico en distintos sitios de la pila de carbono y uranio. Estas varillas fueron distribuidas de modo que se las pudiese extraer una por una con el fin de aumentar el paso de neutrones de un trozo de uranio a otro, o suprimirlo.

El ahora histórico 2 de diciembre de 1942 encontró al grupo de científicos en el patio de aplanadoras bajo las gradas listos para ensayar el experimento más grande de sus vidas. Si funcionaba, significaría una fuente perpetua de energía en forma de calor.

Si bien el doctor Fermi, que fuera el responsable del desarrollo de la pila atómica, había hecho cálculos que indicaban lo que ocurriría, y los había revisado y vuelto a revisar repetidamente, todavía los científicos, allí en el patio de aplanadoras, abrigaban su dudas. Estaban haciendo algo que jamás se había intentado anteriormente.

En un extremo del patio había un balcón; en el otro, el gran muro negro de carbono y uranio. El doctor Fermi y los demás se prepararon para el experimento. El doc-

tor George Weil estaba a cargo de las varillas de cadmio que debían controlar la reacción del uranio. Tres hombres más se estacionaron en la parte superior del horno atómico, listos para verter en él una solución de cadmio que absorbiese todos los neutrones emitidos, "apagando" así la reacción en cadena si fuese necesario.

El primer paso, al iniciarse el experimento, fue ir extrayendo todas las varillas de cadmio metálico menos una. Esto se hizo y el doctor Fermi observó que la pila reaccionaba. Los instrumentos que registraban la cantidad de radiación comenzaron a funcionar. El doctor Weil extrajo la última varilla sólo 30 centímetros. Los indicadores funcionaron con mayor intensidad. Se extrajo la varilla un poco más. Nuevamente los aparatos acusaron mayor actividad, hasta que llegaron a un punto constante. Cada vez que se retiraba más la varilla, ocurría el mismo fenómeno. Hasta entonces los cálculos del doctor Fermi habían resultado correctos. Este cuidadoso proceso prosiguió toda la mañana. A pesar de su agitación, los científicos se tomaron su tiempo para almorzar.

Regresaron por la tarde y siguieron retirando la última varilla de control. Finalmente la varilla llegó al punto en el cual el doctor Fermi había calculado que la pila atómica entraría en reacción en cadena por sí sola. A las 15.25, hora central de los Estados Unidos, la pila reaccionaba y la llama atómica ardía en forma continua. La radiación siguió aumentando de intensidad hasta las 15.35, cuando el doctor Fermi hizo volver a introducir las varillas de cadmio para detenerla.



Los sabios habían logrado su propósito. Habían producido una reacción en cadena que se mantenía a sí misma y que desprendía calor como resultado de la fisión del uranio. El doctor Eugene P. Wigner, de Princeton, se secó la transpiración del rostro y extrajo una botella de vino Chianti. El doctor Fermi mandó buscar unos vasitos de papel y el cansado grupo brindó por la era atómica.

El doctor A. H. Compton, que entonces era el jefe del proyecto de energía atómica en la Universidad de Chicago, hizo una llamada de larga distancia al doctor James B. Conant, de Harvard, en Cambridge, Massachusetts, quien presidía el Comité de Investigaciones para la Defensa Nacional. El altamente secreto descubrimiento científico fue comunicado al doctor Conant con las siguientes palabras, cuya importancia es similar a ese famoso mensaje de Alexander Bell, "Qué nos ha revelado Dios":

—Hola —dijo el doctor Compton—. El navegante italiano ha llegado al nuevo mundo.

—¿Y cómo encontró los nativos? —preguntó el doctor Conant desde Cambridge.

—Muy amables —respondió el doctor Compton.

# Máquinas atómicas. Una mirada al átomo

## Capítulo VI

El astrónomo está escudriñando cada vez más lejos en el espacio para descubrir espacios y distancias más y más grandes, cuya magnitud está fuera de nuestra capacidad de comprensión. El físico nuclear, o científico atómico, va penetrando en cosas más y más pequeñas, cuyos conceptos son igualmente difíciles de captar. Los hombres miraron por el microscopio y encontraron cosas extraordinariamente pequeñas. Esas cosas parecían estas compuestas por otras todavía menores, y a éstas las llamaron átomos. Entonces descubrieron que el átomo tenía partes –el núcleo, por ejemplo–, y luego resultó que el núcleo también está compuesto por partículas más pequeñas todavía.

Los microscopios revelan las cosas más pequeñas que se pueden ver. Las máquinas atómicas ayudan a descubrir, mediante pruebas indirectas, cosas que no podemos ver. Estas máquinas atómicas, como el ciclotrón, el sincro-ciclotrón, el betatrón, el acelerador lineal y el sincrotrón, son precisamente supermicroscopios que permiten a los científicos aprender más y más sobre las partes del átomo. Cuanto más profundamente se internan en el núcleo, más grande será la máquina que se debe construir para "mirar" en su interior. Cada vez que se hace una máquina más grande se plantea un problema de ingeniería. El sincro-ciclotrón de la Universidad de Columbia, uno de los más grandes del mundo, ha sido construido con tres mil toneladas de acero y cobre. Si el nuevo sincrotrón del Laboratorio Nacional de Brookhaven, en Long Island, hubiese sido construído de la misma manera que el de Columbia, se habría requerido un pedazo de acero del tamaño de una manzana. Pero, felizmente, se ideó otro método de construcción.





Básicamente estas máquinas aceleran partículas atómicas, como los protones, a velocidades fantásticas, hasta que las lanzan para que choquen con un núcleo atómico y lo rompan, o rompan los pedazos del núcleo. O bien, por otra parte, disparan las partículas contra un átomo con tan grande velocidad que las partículas se fijan en el átomo y lo convierten en un átomo completamente distinto.

Siempre a muchos de nosotros nos resulta sorprendente que esas máquinas sean tan enormes. Sabemos que el átomo es una cosa tan pequeña que nadie llegará jamás a verlo, y sin embargo casi siempre que miramos una revista o un diario que describe algún aspecto de la energía atómica, el tamaño de las máquinas que aparecen en las fotografías hace desaparecer casi a los hombres que las atienden. Un ciclotrón contiene cientos de toneladas de acero, y algunos de los más grandes tiene tanto como para construir un puente de respetable tamaño.

¿Por qué estos enormes dispositivos son tan grandes?

Lord Ernest Rutherford, de Inglaterra, fue el primero que utilizó con éxito las partículas alfa emitidas por materiales radiactivos naturales como el radio, en un intento por adquirir nuevos conocimientos sobre el núcleo atómico. Lord Rutherford expuso átomos de diversos elementos a la radiación alfa del radio e hizo algunas determinaciones sobre el tamaño sumamente pequeño del núcleo por la forma como las partículas alfa se dispersaban. Esto era una cosa extraordinariamente difícil de hacer porque la partícula alfa y el núcleo del átomo que hace de blanco están cargados positivamente. Sin embargo, la velocidad de las partículas alfa permitía que algunas chocâsen con los núcleos de algunos átomos. La mayoría de las partículas no daban con el núcleo debido a la gran pequeñez de éste.

En 1919 lord Rutherford descubrió que cuando colocaba una fuente de partículas alfa en un tubo que contenía gas nitrógeno, de vez en cuando una partícula de alta velocidad chocaba de frente con un núcleo de nitrógeno, y este núcleo expulsaba un tipo diferente de partícula de alta velocidad de gran radio de acción. Era como si, jugando al billar, usted lanzase la bola marcada al centro de un grupo de otras bolas, enviando a la tronera una de las que estaban en la parte más alejada. En otras palabras, la partícula alfa embestía el centro de la masa del átomo y salía un núcleo de hidrógeno. Esta fue la primera transformación nuclear observada jamás, condujo a la construcción de máquinas que podían disparar partículas atómicas sobre los núcleos a velocidades extremadamente grandes.



Dado que todo está compuesto por átomos, es teóricamente posible romper el átomo de cualquier substancia con la condición de que se dé al proyectil suficiente velocidad. Por eso se han construído máquinas cada vez más grandes para dar a los protones el impulso que necesitan para su colisión con otros núcleos atómicos.

Usted sabe que si conecta un alambre en cada terminal de una sola pila de linterna o un transformador, como el que se usa para los trencitos eléctricos, y acerca los cables lo suficiente, salta una chispita. La chispita es causada por pequeñas partículas cargadas eléctricamente que van de un terminal a otro de la batería. Si usted conecta en serie dos o tres pilas, entonces la chispa será mayor y las partículas saltarán un espacio más grande entre las puntas de los dos cables. Las diminutas partículas han recibido suficiente energía eléctrica para saltar ese espacio. Eso lo podrá sentir si pone el dedo en el camino de la chispa. Ahora imaginemos que usted emplease millones de pilas, en vez de una, dos o media docena. La corriente de partículas saltaría a varios centímetros de distancia y ellas mismas viajarían a velocidades tremendas.

Imaginemos que usted coloca unos pocos átomos de un material en el sitio exacto en que la corriente de partículas positivas choca con la placa negativa. Es como tirar a un blanco con una ametralladora de gran poder. Así como el blanco sería deshecho por las balas, los átomos

serán desintegrados por la fuerza del impacto de los proyectiles atómicos, o partículas positivas, que usted ha acelerado.

Una de las primeras máquinas que hizo esto es el denominado acelerador Cockcroft-Walton de alto voltaje. Fue construida en Inglaterra, donde ambos científicos de la Universidad de Cambridge lograron hacer un tubo de vacío al cual suministraron una corriente de 800.000 voltios. Se introducían en el tubo partículas positivas de gas hidrógeno y se les daba el formidable impulso de 800.000 voltios. En consecuencia, estas partículas se precipitaban por el tubo y chocaban con un blanco de litio metálico. Algunos de los átomos de litio absorbían las partículas de hidrógeno y expulsaban núcleos de gas helio. Era como si el "fullback" de un equipo de rugby se lanzase a la carga sobre el centro de la línea, escapándosele la pelota de las manos al ser interceptado —la pelota, por supuesto— sería el núcleo de helio.

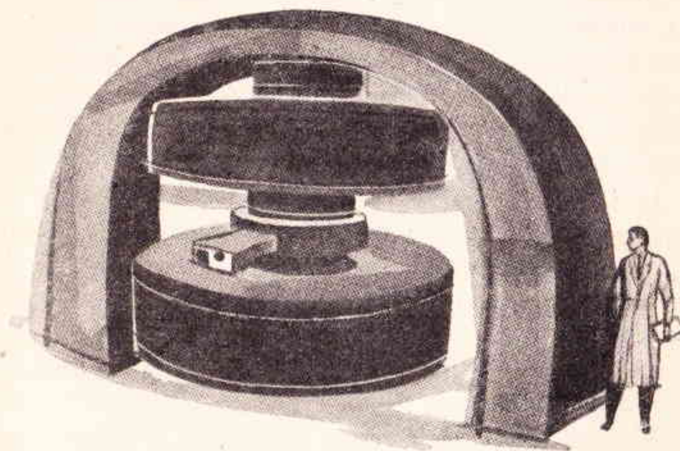
En la actualidad la fuerza de esta máquina de tipo acelerador de alto voltaje ha sido llevada a millones de voltios. Sin embargo, es sumamente difícil aumentar el voltaje y eso limita la medida en que se puede acelerar las partículas.

El ciclotrón, por otra parte, aprovecha una idea diferente. Esta máquina fue desarrollada por el profesor E. O. Lawrence, de la Universidad de California.

El ciclotrón, como usted presumirá, tiene algo que ver con el giro en círculos, exactamente como un ciclón. El ciclotrón, en efecto, es precisamente eso: un ciclón eléc-



trico hecho por el hombre que hace girar las partículas atómicas alrededor y alrededor hasta que alcanzan velocidades tremendas. A diferencia del acelerador de alto voltaje de que hemos hablado, que utiliza una terrible carga de electricidad para impulsar a las diminutas par-



Ciclotrón

tículas en su camino, el ciclotrón emplea cargas eléctricas pequeñas, pero, en cambio, son muchas. La idea consiste en colocar algunos protones en la cámara del ciclotrón para darles una serie de impulsos eléctricos regulares de modo que los protones vayan adquiriendo velocidad hasta que, por último, tengan la necesaria para

penetrar en otro átomo cuando escapan de la máquina por una abertura.

Si usted alguna vez ha jugado al "tetherball" podrá entender el proceso. En este juego la pelota, parecida a la de tenis, está atada a lo alto de un palo. Golpeándola con una raqueta comenzará a girar alrededor del palo. Si dos personas golpean la misma pelota sucesivamente en la misma dirección, seguirá girando en torno al palo con creciente velocidad. Esto es exactamente lo que sucede con la "pelota de tenis del protón" dentro del ciclotrón. Recibe "golpes" eléctricos y, como resultado, los protones adquieren velocidades enormes.

La misma pelota de tenis puede dar una idea de la fuerza y velocidad del protón, la partícula atómica. Si el protón tuviese el tamaño de una pelota de tenis y fuese golpeado con una fuerza equivalente, en una escala mucho mayor, por supuesto, la pelota volaría de Nueva York a Hawai y todavía le quedaría impulso para tumbar un vagón de carga.

El empleo de estas enormes máquinas para romper el átomo es una de las cosas que mejor ilustra la magnitud de las fuerzas que mantienen unido al átomo. Si se necesita una máquina formidable para quebrar una cosa que nunca llegaremos a ver, ¡entonces esa pequeña partícula tiene que tener una resistencia casi inimaginable!

# Aventuras con isótopos

## Capítulo VII

Los isótopos de que tanto oímos hablar, son sencillamente átomos de la misma familia. Podrían llamarse García, pero algunos tienen cabello negro y otros son rubios. Los isótopos pueden ser mellizos, trillizos o cuatrillizos. Todos los miembros de la misma familia se comportan de la misma manera cuando se los mezcla o combina químicamente. La diferencia radica en su peso atómico, en el número de neutrones que poseen. El uranio 238 tiene tres neutrones más que el uranio 235, por ejemplo. En la naturaleza hay unas 92 familias diferentes de átomos, pero, contando todos los mellizos, hermanos, primos y tíos, existen en la naturaleza unos 273 isótopos estables, o sean tipos distintos de átomos.

Cuando un átomo es bombardeado con neutrones procedentes de un ciclotrón, uno o dos neutrones podrían ser absorbidos por el número del átomo que hace blanco, o adherirse a él, de modo que mediante el aumento de peso se convierte en "pariente" de un átomo: un isótopo. No obstante, a diferencia de los distintos tipos de átomos que se encuentran en la naturaleza, estos isótopos hechos por el hombre no tienen mucha duración.





Imaginemos que el átomo que hace de blanco es un niño pequeño y que los proyectiles de neutrones son manzanas verdes. El niño come las manzanas, que le producen grandes perturbaciones en el estómago. A veces transcurre una hora o dos para que el niño cure de su mal. A veces tarda días y semanas para volver a la normalidad. De la misma manera, el átomo que sirvió de blanco sufre perturbaciones por la absorción de los nuevos neutrones y comienza a emitir partículas alfa o beta, o rayos gamma. A veces el átomo sólo tarda una fracción de segundo para aplacarse. Otras pueden tardar algunos millones de años. El carbono y el cobalto radiactivos son ejemplos de materiales hechos de esta manera.

Todos sabemos que hay diferentes clases de átomos: átomos de hierro, átomos de oxígeno, átomos de uranio. Todos se comportan de la misma manera cuando se los mezcla, fusiona, hierve o comprime. Sin embargo, si bien todos los átomos de un solo elemento, como el hierro, se comportan de la misma manera, en un mismo elemento existen átomos de pesos distintos. La tabla periódica que aparece en toda aula de física, muestra los pesos atómicos de los átomos.

Esto, por supuesto, plantea las cuestión de cómo hacer para pesar un átomo. Un medio, empleado por primera vez por el científico británico sir J. J. Thompson, se llama espectrógrafo de masa. Esto parece complicado, pero el espectrógrafo de masa más sencillo funciona de la siguiente manera:

El espectrógrafo de masa es una máquina magnética

dentro de la cual se disparan haces de átomos, como por ejemplo, del elemento neón. El neón es el gas que usted ve en los letreros luminosos rojos hechos con tubos largos, en vez de lámparas eléctricas. Los átomos de neón son lanzados dentro de un imán, donde las fuerzas magnéticas desvían los haces de modo que finalmente chocan con una placa fotográfica en diferentes sitios. Algunos átomos de neón llegan a la placa fotográfica cerca de la parte superior y forman pequeñas líneas en ella. Otros hacen las líneas más abajo y algunos más las forman cerca de la base de la placa. Los átomos que van a la parte superior de la placa son los más livianos, los que van a la mitad son los que les siguen en peso, y los que van cerca de la parte inferior son los más pesados, demostrando que existen átomos de neón de pesos distintos.

Cuando un experto tirador dispara un fusil sobre un blanco, tiene que tener en cuenta el viento que sopla de costado. Si no lo tuviese en cuenta, y si soplase desde el este y él disparara de sur a norte, la bala haría impacto un poco al oeste de la mirilla. Si disparase una bala más pesada la desviación hacia el oeste no sería tan grande. Así, si el arma disparase proyectiles de distintos pesos con la misma velocidad, cada bala de peso diferente llegaría a un sitio distinto del blanco. Hágase de cuenta que el viento es el campo magnético y que las balas son los átomos de pesos distintos, y se tendrá una idea de lo que es el espectrógrafo de masa.

Con el espectrógrafo de masa y otros aparatos atómicos se ha descubierto que todos los elementos tienen un



surtido de átomos de diferentes pesos atómicos. El peso atómico es una medida para átomos, de la misma manera que el kilo es una medida para el té, por ejemplo. Existe un átomo de carbono que pesa 10 y hay otros que pesan 11, 12, 13 y 14. El hierro, por ejemplo, tiene un átomo cuyo peso es de 55, otro de 56 y otro de 59.

Algunos de los distintos tipos de átomos de pesos diferentes parecen cansarse de pesar siempre lo mismo. Se disgregan por sí solos y pierden peso. A veces un átomo particularmente inestable, como el de uranio, incluso puede convertirse en un tipo de átomo completamente distinto.

El carbono de peso atómico 14 se convierte en nitrógeno del mismo peso atómico. A los átomos de carbono 12 y 13 les gusta quedarse como son y no cambian, mientras los carbonos 10, 11 y 14 cambian fácilmente. A estos átomos volubles que cambian fácilmente se los denomina "isótopos radiactivos".

Los isótopos radiactivos son cosas muy útiles. Las partículas alfa y beta y los rayos gamma que emiten pueden ser registrados por los asombrosos instrumentos de medición de los científicos, uno de los cuales, por supuesto, es el conocido contador Geiger. Por lo tanto es posible determinar su presencia en minúsculas cantidades.

Algunos isótopos radiactivos se tranforman con mucha rapidez y desprenden energía en un abrir y cerrar de ojos. Otros tardan mucho. El uranio, como se recordará, abandonado a su propia suerte se va transformando len-

tamente en plomo, emitiendo rayos durante ese proceso. Podría decirse que degenera en plomo.

Es aquí cuando entra en consideración el término "duración media". La duración media significa el tiempo que un isótopo, como el hierro 59 o el carbono 14, tarda en perder la mitad de su radiactividad. El carbono 14, por ejemplo, tarda 5.400 años para perder la mitad de su radiactividad. El hierro 59, por otra parte, pierde la mitad de su radiactividad en un lapso relativamente breve, 47 días. En períodos subsiguientemente iguales los isótopos van perdiendo la mitad de su radiactividad remanente hasta que la misma cesa por completo.

Los isótopos radiactivos, por lo tanto, hacen muchas cosas. Lanzan corrientes de rayos y partículas que atraviesan distintos materiales, como papel, aluminio, plomo y agua, y se los puede registrar con dispositivos como el contador Geiger.

Los rayos ennegrecen la película fotográfica.

Los rayos pueden hacer que los gases conduzcan la electricidad, como el alambre de cobre.

Los isótopos radiactivos y los isótopos más satisfechos, o estables, se comportan de la misma manera cuando se los mezcla con otra cosa o se los funde o amalgama con otro elemento o serie de elementos.

Debido a estas propiedades, los isótopos radiactivos se pueden utilizar de distintas maneras en nuestra vida diaria. Ciertas clases de isótopos radiactivos se pueden emplear como el aparato de rayos X en el consultorio del dentista. De la misma manera que el dentista hace



una película en la cual se puede ver la formación de los dientes, el operario de la fábrica de automóviles puede hacer radiactivamente una fotografía en la cual se ve si existe una falla en el acero con que se fabricará el motor de un coche. Esto no hace ningún daño al trozo de acero, del mismo modo que el rayo X no perjudica a la gente.

La gran ventaja del empleo de isótopos radiactivos consiste en que evita el transporte de bultos grandes. Un aparato de rayos X es sumamente voluminoso para trasladar. Una pequeña partícula de cobalto 60, por otra parte, es fácil de llevar y lo suficientemente pequeña como para introducirla en lugares de difícil acceso, como, por ejemplo, el interior de un caño de plomo o un pequeño motor de gasolina que está en funcionamiento.

El "rastreo" radiactivo tiene muchas aplicaciones. El ejemplo más sencillo sería que usted quisiera determinar dónde se ha obstruído un caño de desagüe. En vez de subir y bajar escaleras golpeándolo o hacer que el plomero desarme toda la cañería, lo único que tendría que hacer sería mandar un pedacito de material radiactivo por el caño y después seguir la cañería con un contador Geiger. Al llegar al sitio en que el material radiactivo se detuvo, el contador funcionará intensamente y usted rompería el caño allí para repararlo. Los correos utilizan rastreadores radiactivos para despejar los toboganes atascados de cartas y paquetes.

Si un médico quiere saber si su sistema circulatorio tiene alguna falla, puede que inyecte una diminuta cantidad de isótopo radiactivo en su torrente circulatorio

para, con un contador, descubrir dónde se ha producido el atascamiento. Si el médico quiere determinar si su digestión se desarrolla normalmente, puede colocar un isótopo radiactivo en sus alimentos y después, con un contador, averiguar adónde y en qué cantidad se dirigió cierto material que usted ha ingerido.

Los rayos emitidos por los isótopos radiactivos no sólo atravesarán distintos materiales para acusar su presencia en un medidor como el contador Geiger, sino que también matan las bacterias que echan a perder los alimentos. Si se pudiese suspender la actividad de los gusanitos que convierten una patata comestible en una informe masa podrida, la patata, obviamente, se conservaría comestible. Esto se puede hacer matando las bacterias con los rayos gamma de los isótopos radiactivos. Incluso los alimentos contenidos en envases herméticos se pueden exponer a distintos grados de radiación, de modo que las bacterias mueran y el alimento permanezca inalterado. El problema radica en regular la radiación de modo que al mismo tiempo no se deterioren las vitaminas y el sabor del alimento. Es probable que ya no sea necesario guardar los comestibles en la nevera, sino dejarlos en un estante o alacena sólo para evitar que se ensucien con polvillo.

Estas y otras aplicaciones de los isótopos radiactivos irán generalizándose cada vez más a medida que la era atómica prospere. El único obstáculo en su empleo, sin embargo, es la adecuada regulación de los rayos que emiten estos isótopos inestables de modo que no resulten



nocivos para los seres humanos. Su utilización se debe hacer de manera que ninguna persona corra peligro de inhalar polvillo radiactivo, exponga su cuerpo a radiaciones o coma substancias que se han vuelto demasiado radiactivas debido a su exposición a los rayos. Por eso los procesos relacionados con materiales radiactivos se deben hacer detrás de corazas. El espesor de la coraza, por supuesto, depende del tipo de isótopo que se emplea y de su cantidad y potencia.

Imaginemos que usted ha conservado una bolsa de patatas con una cantidad de radiación tan pequeña que no haría daño a nadie. La patata pura, de por sí, no sería de hecho radiactiva en absoluto, pero cualquier "impureza", como su posible contenido en minerales, o incluso la tierra de su cáscara, adquiriría radiactividad. Si usted almacenase una gran cantidad de esas bolsas de patatas esterilizadas en un depósito, formaría una masa radiactiva que llegaría a ser peligrosa incluso para alguien que caminase junto al depósito, a menos que lo rodease con plomo.

A pesar de las dificultades de protección, que en la actualidad han sido superadas en su mayoría, los isótopos radiactivos fabricados mediante el bombardeo de ciertos materiales con neutrones provenientes de un reactor nuclear, o protones de un ciclotrón, están mejorando continuamente los productos industriales y ahorrando a la industria millones de dólares por mes. Estos átomos, que sabemos que actúan como diminutas estaciones radioemisoras que envían señales que se pueden captar y registrar,



Ingeniero atómico en un laboratorio "caliente"



también tienen miles de aplicaciones en medicina y agricultura.

Los átomos radiactivos se pueden hacer pasar a través de metales, flúidos y el cuerpo humano, sea por sí solos o bien mezclados con otro material, gas o líquido. Con instrumentos capaces de detectarlos, se ponen tan de manifiesto como las cartas marcadas para el mago. Los instrumentos no sólo acusan dónde están los átomos, sino cuántos de ellos hay en un lugar determinado. Los átomos se pueden dar a comer a ratones y hombres, o introducir en las máquinas, y de la forma en que se los registra se hace un plano de los sistemas digestivos biológico, químico o mecánico.

Gracias a los átomos radiactivos, los envasados de cereales pueden determinar la rapidez con que el agua moja las cajas y envases, determinando así el tipo de recipiente adecuado. Del mismo modo se puede saber la velocidad con que el líquido impregna los alimentos mismos, y en base a ese hecho un fabricante de comestibles envasados puede decidir la forma de preparar un nuevo cereal de cocimiento rápido, por ejemplo.

Mediante el empleo de átomos radiactivos la vaca puede llegar a convertirse en cosa anticuada, no siendo como parte del encantador panorama del campo. A raíz de las investigaciones hechas en cuanto a la forma en que la vaca fabrica la leche, es probable que cada vez se vaya haciendo más cantidad de nuestra leche en las fábricas. La leche manufacturada podría tener el mismo valor nutritivo e incluso ser de mejor sabor.

Si usted no quiere perder rastro de su ratoncito domesticado, dele a comer una pequeña e inofensiva dosis de cobalto radiactivo y cuando se escape sígale la pista con un contador Geiger. Eso fue precisamente lo que hizo un zoólogo de Wisconsin porque quiso saber en qué clase de vegetación la rata de campo pasaba la mayor parte de su tiempo. Los insectos, pájaros y muchos tipos de roedores se pueden rastrear de la misma manera. Este empleo de isótopos resuelve el problema de las personas interesadas en la vida natural que no tienen tiempo para dedicar largos períodos a su observación.

Los golfistas que pierden las pelotas en la cancha pueden hacer radiactivas a las pelotas, llevar un contador Geiger en la bolsa de golf y no tener ningún inconveniente en localizarlas en la peor de las canchas. Sin embargo, cuando se intentó esto por primera vez, el hombre que lo hizo descubrió que para que las pelotas fuesen lo suficiente radiactivas para poderlas localizar fácilmente, se hacía peligroso llevarlas en los bolsillos.

Las patas de pollo y las costillas de cerdo son más grandes y mejores en la actualidad gracias a los isótopos. Se descubrió que una substancia llamada tiouracilo, cuando se la daba a los cerdos, los hacía crecer más grandes y con mayor rapidez. También hacía crecer mejor a los pollos. Pero los hombres de ciencia temían que al comer jamón o pollo, también el ser humano recibiese una dosis de la droga y creciese más grande y más gordo, lo quisiera o no. Utilizando átomos radiactivos en la droga, se descubrió que el tiouracilo no pasaba al consumidor, y



que el superjamón y el superpollo se podían comer sin peligro.

Las semillas y hortalizas están siendo bombardeadas constantemente con materiales radiactivos para permitir a los agricultores la producción de verduras mejores y flores de aspecto más interesante. En el Laboratorio Nacional de Brookhaven, dependiente de la Comisión de Energía Atómica y situado en Long Island, Nueva York, la radiación produjo cambios en las plantas que normalmente habrían tardado cientos de años en realizarse. Así, mediante el proceso de selección, va saliendo mayor la cantidad de ingredientes vegetales y plantas mismas que literalmente están siendo extinguidos. El rendimiento de la planta de maní aumentó en un treinta por ciento después de unos pocos meses de investigaciones. Anteriomente casi la mitad de los cultivos de avena de los Estados Unidos era destruida por una enfermedad de las plantas denominada "moho de la avena". Esto ha dejado de ser cierto porque se pudo inducir la resistencia de las plantas de avena mediante radiación atómica.

Si a usted se le fuese a presentar una enfermedad de la sangre denominada anemia, el médico podría solicitarle que coma un huevo que contenga hierro radiactivo. Su sabor es exactamente el mismo que el de un huevo noradiactivo. El hierro contenido en el huevo sería asimilado por su organismo con mayor lentitud que el hierro de una píldora, y el doctor podría decir adónde se dirigió el hierro radiactivo siguiéndolo con un dispostivo que acuse su presencia. Los observadores del primer huevo

frito radiactivo, dicho sea de paso, ¡informaron que se había quemado en los bordes!

A los diez años de haber estallado bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki, en Japón, la energía atómica ha salvado más vidas de las que se perdieron en ambas explosiones. Las mismísimas propiedades de la radiación atómica que cuando están fuera de control pueden causar una destrucción tan horrible de vida y bienes, también pueden hacerla altamente beneficiosa para la humanidad.

Quizás el empleo de rastreadores radiactivos y radiaciones gamma en medicina sea aún mucho más útil para nosotros que su utilización en las industrias y la agricultura. Dos de las aplicaciones más importantes en las cuales se hace que el átomo conserve nuestra salud y nos cure cuando estamos enfermos, consisten en determinar qué sucede con las cosas que comemos y en regular el crecimiento de las células de nuestro organismo.

En el primer caso se puede dar al enfermo un vaso chico de yodo radiactivo. (La importante glándula tiroides del organismo utiliza yodo). Entonces se envía al paciente a su casa y se le dice que vuelva a las veinticuatro horas. Al día siguiente el médico mide la pequeña radiactividad existente en la tiroides. Por la intensidad de la radiación podrá determinar exactamente la cantidad de yodo que hay allí y la forma normal o deficiente en que el paciente ha digerido su dosis de yodo.

Debido a que el fósforo va a los huesos, se puede administrar a un paciente cuyos huesos no crezcan bien fósforo "marcado", para que el doctor determine exactamente la cantidad de fósforo que realmente va a los huesos. O, como en el caso de algunas enfermedades del corazón, se puede suministrar digital "fertilizada" con carbono radiactivo. Su trayectoria por todo el organismo se puede seguir con la misma facilidad que un remolcador que navegase por un río.



La substancia radiactiva radio y los poderosos aparatos de rayos X se han venido empleando durante mucho tiempo para frenar el crecimiento de las células cancerosas. El lector recordará que el motivo por el cual los reactores nucleares y las máquinas atómicas se circundan con una coraza, estriba en que ciertas células de los seres humanos expuestos a su radiación se destruyen y ello puede dañarles seriamente la salud. Los rayos sumamente penetrantes del radio, que son rayos gamma, y los rayos X, pueden producir los mismos daños si una persona se expone demasiado tiempo a rayos de gran intensidad. Pero, de la misma manera, estos poderosos rayos se pueden regular y dirigir sólo sobre ciertas partes para frenar el crecimiento de las células e incluso destruirlas. Con el advenimiento de los isótopos radiactivos, especialmente el cobalto 60, se obtuvo un arma de extraordinario poder contra el cáncer.

El cobalto se introduce en un dispositivo que dirige las radiaciones gamma del cobalto a un punto canceroso localizado que esté en cualquier parte del cuerpo del paciente. Así las células cancerosas se deterioran en primer

término, mientras las normales no sufren mayormente los efectos de la fuerte radiación.

A diferencia del radio y los rayos X, que por lo general deben ser dirigidos desde el exterior del cuerpo, los isótopos radiactivos se pueden mezclar con otras substancias para inyectarlos en el torrente circulatorio del paciente, o bien colocarlos en su organismo. Una de las aplicaciones más significativas en este sentido fue desarrollada en el Laboratorio Nacional de Brockhaven. Consiste en un tratamiento para el cáncer cerebral que no se puede localizar fácilmente o que, aún localizado, exige una intervención quirúrgica peligrosa.

Una substancia llamada borato de sodio, que contiene boro 10, se inyecta en el torrente circulatorio del paciente. Cuando esta solución llega al cerebro, impregna el tejido canceroso con mayor rapidez que el tejido sano. La finalidad, por supuesto, es atacar al tejido canceroso, antes que al sano. La mayor parte del boro entra en las células de cáncer. A continuación se coloca al paciente a la alto de una pila atómica, cerca de una rendija por la cual pasa un haz de neutrones lentos. Cuando el átomo de boro es bombardeado por neutrones, se produce una reacción nuclear y el átomo de boro emite una partícula alfa, la cual es capaz de destruir las células cancerosas. A medida que se va descargando más partículas alfa, más células cancerosas se destruyen. Los resultados de este tratamiento han sido asombrosos, aunque temporarios. Pacientes que habían entrado a la sala del tratamiento en camilla, salieron caminando por sus propios medios.



Un isótopo radiactivo de la substancia rara llamada tulio constituye el corazón de la "máquina" de rayos X moderna. En vez de un complicado dispositivo que exigía una gran cantidad de electricidad para su funcionamiento, el aparato de rayos X de tulio consiste en una caja metálica de unos 30 centímetros de largo por 15 centímetros de lado que se puede llevar a cualquier parte y no necesita corriente eléctrica.

Muchas operaciones de ojos están pasando a ser cosa del pasado gracias a los adelantos registrados en el uso de la radiación.

Es muy probable que se le pueda salvar la vida o, por lo menos, que usted pueda curarse de una enfermedad debido al empleo de isótopos radiactivos por su médico o en su hospital.

# La energía atómica en la industria

# Capítulo VIII

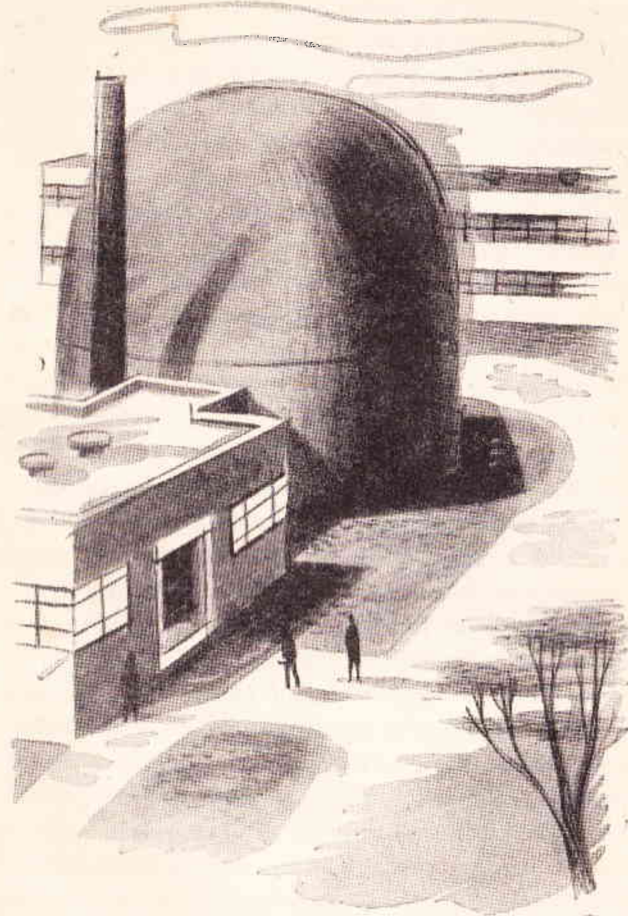
Cuando el lector piense en una planta de energía eléctrica que suministre corriente a las fábricas de su localidad y a las luces de su casa, imaginará un cuadro de grandes montañas de carbón y de grandes edificios con altas chimeneas que echan humo. O, si los generadores funcionan con fuerza hidráulica, tendrá que haber una gran represa a través de un río.

En una planta de electricidad que utilice energía nuclear, las grandes montañas de carbón, la represa y la mitad de las chimeneas desaparecen. El calor para convertir el agua de las calderas en vapor proviene de un reactor nuclear no mucho más grande que un antiguo barril de agua llovida. Sin embargo, todavía conserva las turbinas de vapor y las dínamos, exactamente como la maquinaria de una planta eléctrica común.

A primera vista, el empleo de un reactor nuclear para suministrar el calor necesario para una fábrica de energía eléctrica parece lo ideal. Sólo se necesita unos pocos kilos de uranio. Colóquese el uranio en un reactor rodeado por una coraza de acero, haga pasar unos cuantos







Modelo de la primera planta atómica de electricidad

caños de agua por el reactor y déjelo funcionar días, meses e incluso años, sin necesidad de reabastecerlo.

Así como la primera máquina de vapor, el primer motor a explosión y el primer dínamo tuvieron que ser perfeccionados, así también hubo que perfeccionar los hornos, o reactores atómicos.

Para producir energía eléctrica todos los reactores tienen que ser construidos sobre los siguientes principios básicos: primero, con la fisión nuclear se desprenden enormes cantidades de energía; segundo, los productos de la fisión nuclear son radiactivos, y, tercero, la fisión es provocada por los neutrones, y más neutrones se producen para posibilitar la reacción en cadena.

En la construcción de una planta eléctrica atómica, los ingenieros deben considerar cómo hacer para que el reactor funcione eficazmente. Del mismo modo que no es conveniente derrochar el calor de un horno, tampoco conviene desperdiciar los neutrones que se producen en una pila atómica. Debido a que los neutrones pueden atravesar prácticamente cualquier material, muchos de ellos se pierden, desapareciendo en el aire, después de cruzar las paredes de la máquina, o reactor. El hierro, el acero, el cemento y el metal circonio que se emplean para construir el reactor, también absorben neutrones. El uranio 238 del horno atómico, también captura muchos neutrones que ya no contribuyen a mantener al reactor en funcionamiento.

Por cada neutrón que se emplea en dividir un átomo de uranio, se producen alrededor de otros dos neutrones



y medio. Esta no es en realidad una gran cantidad de neutrones para llevar adelante una reacción en cadena y, al mismo tiempo, suministrar los neutrones que absorben los materiales del reactor, los que capta el uranio 238 para convertirse en plutonio y los que se pierden en el espacio. Para que la reacción en cadena continúe y para que el horno arda de modo que se pueda aprovechar su energía, tienen que quedar suficientes neutrones disponibles para seguir fraccionando los átomos de uranio 235. Es esta constante pérdida de neutrones lo que los ingenieros han debido encarar, constituyéndose en un problema fundamental en la construcción del reactor.

Además de tratar de conservar los neutrones, el diseñador de un reactor debe considerar el efecto de la radiación de los rayos gamma en la misma medida que el bombardeo de los materiales por los neutrones. Las piezas de acero o aluminio, circonio y otros materiales que se emplean en la construcción de un reactor, al estar sometidos continuamente al choque de los neutrones pueden volverse quebradizas, cambiar de forma o corroerse. La duración de los materiales y los tipos que más conviene usar son problemas que siempre están en pie.

El riesgo para la salud es otro problema más. Los científicos y los demás operarios de una planta atómica deben estar protegidos de los neutrones y otros tipos de radiación. El reactor se debe rodear por una pesada coraza que impida en absoluto el paso de las radiaciones atómicas. La radiación existe siempre, funcione o no el reactor, y el reactor mismo se torna permanentemente

radiactivo. En consecuencia, el reactor tiene que ser en gran medida automático. Incluso las refecciones, cuando la planta no funciona, son una actividad sumamente engorrosa porque el material con el cual está hecho el reactor no se puede manipular con facilidad. La mayor parte de esta operación se debe hacer por control remoto.

Como ejemplo de esta dificultad, cuando un reactor canadiense se puso fuera de control y se destruyó, la mayoría de sus restos —metales, cemento y todo lo demás— hubo que enterrarla muy hondo bajo tierra. Los trabajadores especializados que sacaron los caños de la planta parcialmente destruida, sólo podían trabajar una hora y luego tomarse un mes de descanso para que no se enfermasen por la radiación que siempre existía.

En todo reactor, los elementos energéticos, o sean los recipientes de uranio situados en el centro del núcleo del reactor, se deben sacar una vez que se ha utilizado más o menos el diez por ciento del material, para someterlos a un nuevo proceso químico. Este proceso de remoción se debe hacer por control remoto y los materiales se deben despachar al laboratorio químico en vagones ferrovarios o camiones blindados. Además, también la escoria del reactor se debe enterrar en tanques construidos especialmente. Incluso si se utiliza agua remotamente para enfriar los reactores, como la del río Columbia, que pasa por la planta de plutonio de Hanford, Washington, se la debe dejar estacionada en tanques de almacenamiento hasta que pierda su leve radiactividad.

Otro problema que plantea el diseño de un reactor



radica en el aprovechamiento del calor necesario para producir vapor. Si, por ejemplo, se hace pasar agua directamente por el núcleo del reactor, donde el uranio se está fraccionando y produciendo un calor tremendo, esa agua será radiactiva y transmitirá su radiactividad a las otras secciones de cualquier planta eléctrica.

La regulación del funcionamiento del reactor para evitar que la reacción se intensifique por su propia cuenta, es un problema que ha sido resuelto en gran medida. Teóricamente el reactor puede seguir calentándose solo hasta fundirse. Se debe poner cuidado para que los controles enciendan, apaguen y mantengan la reacción en cadena en un nivel que produzca calor con eficacia.

Si bien existen todos estos problemas para diseñar un reactor, su construcción se puede hacer de varias maneras. Uno de los más fascinantes, al menos en teoría, es el reactor de autoalimentación progresivo. El uranio se fisiona, produciendo calor, energía y más neutrones, y esos neutrones pueden bombardear U 238 para formar plutonio. El plutonio también puede ser fraccionado por los neutrones, producir más material fisionable y al mismo tiempo desprender calor, si el conjunto de materiales se distribuye en forma correcta.

Tal proceso se denomina autoalimentación. Teóricamente uno podría encender el reactor, extraerle calor para hacer funcionar una planta electromotriz, aprovechar los neutrones remanentes para hacer plutonio, alimentar con plutonio el reactor para producir calor, y así sucesivamente. Es una cadena sinfín y casi todo el ma-

terial energético se va reemplazando a medida que arde.

Dado que el reactor progresivo emplea el isótopo U 235, que, antes todo, es costoso de producir, es imposible tirarlo e instalar una nueva partida de U 235. Si bien esto es cierto en todos los reactores, no importa que utilicen uranio natural o plutonio, es particularmente verídico en lo concerniente al que emplea U 235. Esto se parece algo al cambio de aceite en el motor de un automóvil, con la excepción de que, en vez de poner aceite nuevo, uno debe depurar el aceite viejo y volverlo a echar al cárter.

Este reactor de autoalimentación, o progresivo, es uno de los varios tipos que la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos tiene en funcionamiento. Otro de ellos es el reactor de agua a presión, similar al que se emplea para propulsar navíos como el submarino *Nautilus*. El agua circula a gran presión por el centro de uranio caliente, o núcleo, del horno. El líquido se encuentra bajo presión de modo que se lo puede calentar muy por encima del punto de ebullición sin que se convierta en vapor. Para hervir agua a nivel del mar se requiere una temperatura mayor que en la cumbre de una montaña porque en el primer caso la presión atmosférica es mayor. A medida que se va aumentando la presión se irá necesitando una temperatura más alta para hervir el agua y producir vapor. En este tipo de reactor, por lo tanto, la presión del agua es tan grande que se calienta por encima del punto de ebullición normal, pero no se convierte en vapor. En cambio, circula mediante cañerías



en otra caldera con agua no sometida a presión. Este agua hierve, produce vapor y acciona una turbina.

La razón de este sistema en dos etapas radica en que el agua que circula por el núcleo del reactor adquiere radiactividad y deterioraría la turbina si se la enviase directamente a ella. El material energético y los caños que contienen agua a presión están encerrados en un tanque de acero de 2,70 metros de diámetro y 1,30 de altura. Es hermético y se lo podría enterrar si se lo emplease en tierra firme.

Otro tipo de reactor es el que se denomina reactor homogéneo. En vez de emplear como combustible uranio sólido, utiliza una solución de uranio en agua que se bombea a un tanque esférico lo suficientemente grande como para que, una vez lleno, se produzca una reacción en cadena en la solución. Esta "pila atómica" líquida tiene que tener también su tamaño exacto, pues de lo contrario el "fuego" no arde. Entonces la solución reacciona, se calienta y es bombeada por cañerías hasta una caldera, donde convierte a otro sistema de agua en vapor con el fin de accionar una turbina.

El reactor homogéneo es más fácil de hacer funcionar que el que utiliza combustible sólido. El agua en la cual el uranio está disuelto hace las veces de regulador. Cuando se calienta a cierta temperatura, el ascenso término cesa debido a que el combustible líquido es extraído constantemente del tanque redondo mediante la bomba. Por otra parte, además, se puede reponer continuamente la cantidad necesaria de uranio en la solución sin des-

armar el reactor, como ocurre cuando se utilizan recipientes de uranio. La solución de combustible que se bombea a presión por el sistema de caños y calderas es sumamente radiactiva y exige un sistema absolutamente hermético, rodeado, por supuesto, por la coraza protectora de siempre.

Otro reactor más se parece al de agua a presión, en el que el agua circula por una pila atómica, y se calienta, transmitiendo su calor a otra agua con el fin de producir vapor. Sin embargo, en vez de agua, en este reactor se emplea sodio metálico líquido. El sodio líquido se calienta mucho más que el agua y, por lo tanto, extrae más calor del núcleo del reactor. El sodio, entonces, puede calentar mucha más agua en la caldera para producir vapor.

Estos son algunos de los tipos de hornos atómicos que irán reemplazando a los hornos industriales en todo el mundo. Se los utilizará cada vez más para reemplazar las calderas a carbón y petróleo. Debido a la pequeña cantidad de combustible que necesitan, estos hornos muchas veces se instalan y se hacen funcionar en lugares apartados del Ártico y Antártico, y en zonas desiertas.

En 1955 se empleó por primera vez un horno nuclear para propulsar barcos. En 1950 alguien había predicho que sería posible impulsar un paquebote a través del Atlántico ida y vuelta con sólo un cubito de uranio de dos centímetros y medio de lado. La primera nave de propulsión nuclear se hizo a la mar el 17 de enero de 1955. Exactamente a las 11.01 de la mañana de ese día,



el *Nautilus*, primer submarino de propulsión atómica de la Marina de los Estados Unidos, envió el siguiente mensaje desde su semáforo en el puente: "A las 1101 Z navegando con energía atómica". El submarino navegaba en superficie en la Bahía de Long Island, no lejos de Groton, Connecticut, donde fue construido. Esta nave de noventa metros de largo cuyo costo fue de cincuenta y cinco millones de dólares, podía navegar a más de treinta y dos kilómetros por hora bajo el agua y era capaz de dar la vuelta al mundo impulsada por un trozo de combustible del tamaño de una pelota de golf, o sea un kilo de uranio.

El motor del *Nautilus* contenía mucho más que un kilo de uranio, por supuesto, pero sólo consumiría alrededor de esa cantidad para hacer una travesía de cuarenta mil kilómetros. El reactor del *Nautilus* extrajo de este combustible una energía equivalente a la de unos dos millones setenta mil litros de "fuel oil". El barco podía viajar esos cuarenta mil kilómetros —o sea la circunferencia de la tierra— bajo la superficie. El oxígeno para la respiración se podía obtener del agua de mar. El motor atómico, por consumir uranio, no necesitaba oxígeno.

Ya se había diseñado otro submarino atómico y probado su reactor. Éste, el *Sea Wolf*, contaba con un reactor que utilizaba sodio líquido, en vez de agua a presión como el *Nautilus*.

Estos dos submarinos fueron los primeros de una serie de distintos tipos de nave cuya construcción se había

programado al comenzar la era atómica del transporte marítimo. La energía nuclear, al reemplazar las baterías eléctricas y los motores diesel que propulsaban los submarinos, ha evolucionado la Marina de Guerra y revolucionará la navegación mercante y transatlántica.

Un nombre que pasará a la historia como el precursor de la navegación nuclear es el del contraalmirante Hayman G. Rickover, cuyo genio e iniciativa orientaron la construcción del *Nautilus.* A raíz de su experiencia en la construción del *Nautilus,* el almirante Rickover ha sido elegido para dirigir la primera planta electromotriz atómica industrial en este país. Esta planta nuclear se encuentra en Shippingport, Pennsylvania, y pertenece a la Duquesne Light Company de Pittsburgh.

Para 1955 la mayoría de las compañías de electricidad de los Estados Unidos se encontraban en vías de proyectar plantas atómicas para la producción de electricidad, con el fin de suministrar luz y fuerza motriz a los hogares y las industrias. Uno de los principales descubrimientos que contribuyeron a desarrollar este tipo de energía nuclear fue el hecho de que en el reactor de autoalimentación o progresivo se puede utilizar un elemento que abunda en la naturaleza cuatro veces más que el uranio. Este elemento es el torio. El torio es radiactivo en su estado natural y se encuentra en muchos Estados del país, principalmente Florida, Las Carolinas del Norte y del Sur, e Idaho. Debido a que los neutrones que mantienen en funcionamiento el reactor, se gastan y se pierden en gran número, el reactor de autoalimentación, con uranio



como combustible, se apaga después de un tiempo. El uranio produce neutrones suficientes para mantenerlo en funcionamiento, pero no tanto como para compensar las pérdidas a largo plazo. El torio, en cambio, cuando es bombardeado por los neutrones en el horno atómico, se tranforma en U 233, isótopo de uranio que es radiactivo y produce neutrones suficientes para mantener el "fuego" encendido y también para desprender más neutrones que formarán nuevo U 233. De ahí que el reactor de torio pueda ser más conveniente para su aplicación en las plantas eléctricas nucleares automáticas.

Ya se han diseñado reactores para la producción de energía eléctrica en Canadá, Gran Bretaña, Brasil, Argentina, Noruega, Suecia, Dinamarca, Francia, España, Italia, Bélgica, Suiza, Rusia, India, África del Sur, Australia y México. Algunos son para plantas de energía eléctrica comerciales y otros han sido instalados por los gobiernos.

En general, como hemos dicho, las plantas electrógenas accionadas por el átomo carecerán de chimeneas o represas. ¿Cómo son?

Constan de varios edificios situados en las afueras de una localidad, en una zona despejada. Algunos, de aspecto familiar alojan las calderas, las turbinas y las dínamos. De la sala de calderas puede surgir una chimenea, pero no despide humo. A un costado están los transformadores de siempre, protegidos por un cerco alto, y, desde ellos, parten los conductores hacia las torres, y las líneas de alta tensión se alejan a través del campo.

Un edificio, ubicado en el centro, carece de ventanas y tiene varios pisos de altura. En éste, probablemente, estén el reactor y sus controles. Si por otra parte, el reactor está enterrado en las cercanías, el edificio sólo aloja los controles. Si el reactor no es subterráneo, dentro del edificio hay una gran caja de cemento con muros de algunos metros de espesor y escalas parecidas a las de incendio en uno de sus costados. La sala tiene un balcón con los instrumentos de control remoto y los dispositivos para hacer funcionar el reactor. En la parte opuesta del edificio hay maquinarias especiales para insertar nuevo combustible o introducir las varillas de control del reactor. Un guinche desplazable, montado en rieles sobre las corazas, está siempre listo para sacar automáticamente el núcleo del reactor.

El edificio está impecablemente limpio y no hay ruido.

Afuera no se ven vías ferroviarias o, si está cerca de una vía acuática, no hay muelles. Los únicos seres humanos que se ven son algunos técnicos solitarios. Si bien los ingenieros nucleares que atienden la planta a veces parecen hombres de Marte con su ropa que les cubre todo el cuerpo, sus máscaras faciales y sus guantes de goma, el único peligro repentino en un reactor moderno sería equivalente a la explosión de un tanque de gasolina de un automóvil. Los dispositivos de seguridad lo controlan todo, aunque se produzca una falla humana. Según las palabras de un ingeniero nuclear, "el reactor se controla fácilmente. Es una máquina plácida y perezosa".



Además de las grandes plantas eléctricas atómicas que habrán de suministrar cada vez más electricidad a los hogares y fábricas de las poblaciones, se han construido "reactores en paquete". Estos reactores, de diseño lo más sencillo posible, se pueden transportar con comparativa facilidad e instalar sin necesidad de construcciones enormes.

Cada vez los reactores pequeños irán teniendo más aplicación en sitios como Alaska, Groenlandia y las regiones desiertas del mundo. El primero de estos paquetes caloríferos fue construido hacia fines de 1953. Parecía, en realidad, un tacho de basura, aunque era un poco más grande. El lector podrá imaginar lo útil que sería una fuente de energía como ésta en una región fría donde se necesita calor para los edificios y para descongelar los motores de aviones, o bien en un desierto donde se requiere energía para extraer agua de un pozo.

La primera locomotora que utilizó energía atómica fue diseñada por un grupo de investigadores de la Universidad de Utah, bajo la dirección de un precursor en ciencias nucleares, el doctor Lyle P. Borst. Este grupo, que trabajaba con representantes de cinco ferrocarriles y nueve fabricantes, diseñó una locomotora de cuarenta y ocho metros de largo capaz de desarrollar siete mil caballos de fuerza o sea más o menos cuatro veces la de la locomotora común a petróleo. Costaría alrededor de un millón doscientos mil dólares, o sea el doble de la locomotora diesel más potente en uso. Fue diseñada en dos unidades de veinticuatro metros de longitud cada una.

El reactor en sí, alojado en la unidad delantera de la máquina, era como un reactor en paquete de sesenta centímetros de ancho, noventa de alto y noventa de largo, aislado en un recipiente de acero de un metro veinte de espesor y de doscientas toneladas de peso. Este tipo de locomotora funciona con unos cinco kilos de uranio por año.

Hemos explicado que los reactores emplean gran cantidad de agua, y el reactor de la locomotora no es la excepción. La segunda unidad de la locomotora está compuesta enteramente por radiadores que sirven para eliminar calor y condensar vapor, de modo que el agua resultante se pueda hacer pasar nuevamente por el reactor para producir más vapor. El vapor producido por el reactor acciona una turbina, la cual a su vez mueve una dínamo, que suministra corriente eléctrica a los motores situados en las ruedas de las máquinas. El maquinista, como de costumbre, se sienta en una cabina de la unidad delantera de la locomotora.

El avión de propulsión atómica, debido al problema de peso que aún presenta el tipo más pequeño de reactor portátil, puede ser una de las últimas aplicaciones de la energía atómica en perfeccionarse, si bien se han realizado grandes progresos en el diseño y experimentación de tales máquinas. Los cohetes de propulsión atómica, cuyo tipo de motor atómico es diferente, probablemente estén en uso antes de que viajemos de costa a costa en aviones de propulsión atómica. Cuando se logre construir un cohete de propulsión atómica eficaz, la posibilidad



del famoso cohete a la luna será una realidad antes de que transcurra mucho tiempo.

A medida que vayan funcionando nuevos reactores nucleares, cada vez la industria irá aprovechando más los residuos atómicos, o "cenizas radiactivas". Estos materiales radiactivos, que contienen isótopos, están siendo utilizados constantemente en la actualidad por más de dos mil compañías para mejorar la calidad de sus productos.

Entre sus aplicaciones figuran: la medición del espesor del papel de lija durante su fabricación; la fabricación de mejores engranajes y pistones para automóviles estudiando su desgaste y deterioro mientras están en funcionamiento; la determinación del espesor de pesadas planchas de acero; la producción de vidrios que no se obscurecen, y la fabricación de esferas para relojes luminosos.

# El futuro y el átomo

## Capítulo IX

La primera aplicación de importancia que se dio a la energía atómica fue como terrible arma de destrucción. Sin embargo, esa aplicación en sí podría resultar de mayor beneficio para la humanidad que cualquier otra porque puede poner término a las guerras. Las armas nucleares actuales son capaces de destruir la mitad de las ciudades y la mitad de la población de la tierra en media hora. De ahí que la guerra se haya convertido en un absurdo para cualquiera que no sea demente.

¿Cómo se ha aplicado la energía atómica a estas terribles armas de destrucción? La diferencia entre una bomba atómica y una planta electrógena atómica es sencillamente la diferencia entre el fraccionamiento súbito e instantáneo de una enorme cantidad de átomos y el fraccionamiento lento y deliberado de átomos de uranio en una pila atómica controlada. En el reactor atómico, o planta eléctrica, el impacto de los neutrones que lanzan los átomos en fisión es amortiguado, o moderado, por el agua, o bien es absorbido por el cadmio.

Se puede trazar una similitud entre ambos procesos con un río que desborda. Si la nieve de las montañas se





derrite rápidamente, entonces gran cantidad de agua se vuelca por el angosto cauce fluvial y rebasa, provocando la destrucción de pueblos y ciudades. Por otra parte, si se construye una represa y se deja pasar el agua lentamente por las esclusas, se obtiene una corriente de agua constante y controlada, y desaparece el peligro de inundaciones repentinas y destructivas.

En la bomba atómica no hay grafito que sirva de amortiguador entre los neutrones de los átomos fisionables de uranio 235. Se trata solamente de una masa pura de uranio 235. Todo los átomos se fragmentan a la vez, desprendiendo una energía tremenda.

Dispárese nada más que un solo neutrón sobre la masa de uranio 235. Éste chocará con un átomo de uranio, rompiéndolo y haciéndole lanzar dos neutrones más. Estos dos neutrones embisten otros dos átomos y cada uno de éstos emite otros dos neutrones. Después de ocurrir esto veinte veces, más de un millón de átomos se habrán fraccionado. A las treinta veces, el número de átomos rotos supera los mil millones. A las noventa, se han quebrado mil cuatrillones de átomos. Como cada fragmentación se produce en un millonésimo de segundo, en noventa millonésimos de segundo se habrán fisionado mil cuatrillones de átomos, y esto, dicho en otras palabras, es una explosión.

El lector podría preguntarse por qué un trozo de uranio dejado en cualquier parte, no estalla si por casualidad lo alcanza un neutrón perdido. La respuesta es que todo depende del tamaño exacto del pedazo de uranio.

Hablamos de uranio 235 puro. Del mismo modo que la pila atómica tiene que tener una dimensión lo suficientemente grande para que queden en su interior algunos neutrones más que los que escapan al exterior, así el material de la bomba atómica tiene que tener el tamaño correcto. Si tenemos dos pedazos de uranio cuya dimensión no alcanza para estallar, pero que unidos forman una masa suficiente, la explosión se producirá en cuanto se los una.

Si se lograse hacer un dispositivo capaz de unir dos pedazos así en un abrir y cerrar de ojos, se tendrá una bomba. No es necesario que los dos trozos sean del mismo tamaño. Uno puede ser casi tan grande como para estallar y el otro muy pequeño, exactamente lo necesario para que el tamaño de ambos alcance para hacerlo. El más chico podría ser como una bala que se dispara sobre el otro desde un cañón.

Naturalmente, esta es una explicación por demás sencilla de cómo funciona la bomba atómica. En una cosa así existen muchos detalles de construcción, pero afortunadamente no hace falta entrar en ellos aquí.

Circula una anécdota sobre algo que ocurrió durante los primeros tiempos de la planta de Oak Ridge, en Tennessee. Un embarque de uranio "activo" fue cargado cuidadosamente en un gran camión semirremolque. El uranio se encontraba en cajones separados, distanciados lo suficiente para impedir que los distintos trozos de uranio reaccionasen entre sí. El camión custodiado por guar-



dias armados, marchaba a gran velocidad por la carretera cuando de pronto cayó a una zanja y se destrozó.

Los guardias, sabiendo que esta carga era muy valiosa y debía llegar a destino, detuvieron a un automóvil que pasaba, sacaron los cajoncitos del gran acoplado y los apilaron cuidadosamente en el asiento trasero. Felizmente siguieron su camino e hicieron la entrega.

Cuando los científicos del punto de destino descubrieron que el envío había llegado, el uranio ya se había calentado considerablemente. Lo descargaron frenéticamente y los guardias jamás llegaron a comprender por qué el grupo de sudorosos técnicos tardó toda la tarde para tranquilizarse los nervios.

Mientras la bomba atómica produce una explosión resultante de la tremenda fuerza liberada cuando el complicado átomo de uranio se divide, la bomba de hidrógeno es el resultado de la combinación, o fusión, de dos átomos de hidrógeno más sencillos.

Si el lector ha visto alguna vez soldar con soplete de acetileno dos trozos de metal, sabrá que ambos pedazos se adhieren debido al calor que produce el soplete. Esto es a grandes rasgos similar a lo que sucede al fusionar los átomos de hidrógeno. La excepción radica en que al fusionar átomos de hidrógeno se desprende una cantidad tremenda de energía. Hasta que se fabricó la bomba atómica jamás se había registrado una temperatura, aparte de la del sol, lo suficiente elevada para provocar la fusión de los átomos de hidrógeno. Pero si la temperatura enormemente alta que produce la fisión explosiva del

átomo es aplicada a los átomos de hidrógeno pesado, es capaz de fundir a éstos y producir una explosión muchas veces mayor que la de la bomba atómica. La temperatura alcanzada se aproxima a la del sol, o sean millones de grados.

Cuando en 1952 se hizo estallar la primera bomba de hidrógeno en la isla de Bikini, en el Pacífico, la temperatura fue tan grande que toda la isla se fundió, incluyendo los arrecifes de coral, no quedando nada más que cenizas.

Las bombas, entonces, no sólo son importantes porque han dado nuevas armas a los militares del mundo, sino porque suprimirán la idea misma de la guerra. La energía destructiva del átomo es historia. La pesadilla del miedo que ha inspirado irá desapareciendo gradualmente con el correr de los años, superada por la enorme utilidad de la energía atómica para ayudar a los pueblos del mundo a gozar de la vida y a prolongar su existencia.

Nos espera un futuro más brillante en el cual la energía del átomo sea el sirviente, y no el amo del pueblo. Recordemos las proféticas palabras de Julio Verne: "El hombre puede construir todo lo que es capaz de concebir".

El submarino atómico *Nautilus* y su gemelo, el *Sea Wolf*, se acercan mucho al sumergible de la gran obra clásica de Julio Verne, *Veinte mil leguas de viaje submarino*. Los adelantos nucleares florecerán de la fase experimental a la aplicación práctica con asombrosa rapidez.

¿Cómo se presenta nuestro futuro atómico?

El aterrador rayo de destrucción que cayó sobre el de-



sierto de Nuevo México cuando se hizo estallar la primera bomba atómica de julio de 1945, fue un espectáculo horroroso, pero las poderosas instalaciones para aprovechar el átomo no son menos impresionantes.

La planta de la Comisión de Energía Atómica sobre el río Savannah, Carolina del Sur, contiene suficientes dispositivos nucleares como para llenar una hilera de vagones de carga desde Atlanta hasta la Ciudad de Nueva York. El cemento empleado en la construcción de esta planta serviría para levantar un muro de tres metros de alto y un metro ochenta de ancho desde Charleston, Carolina del Sur, hasta San Diego, California. Los planos para su construcción, si fuesen extendidos uno a continuación de otro, llegarían desde Nueva York a Berlín, Alemania.

La planta de difusión gaseada de Oak Ridge, Tennessee, emplea diariamente más electricidad que la ciudad de Nueva York y sus alrededores.

La fábrica de plutonio de Hanford, Washington, utiliza casi todo el caudal del río Columbia sólo para refrigerar los reactores.

De la suma original de seis mil dólares, adjudicada para las primeras investigaciones nucleares en 1940, la energía atómica cuesta ahora miles de millones de dólares.

La Comisión de Energía Atómica del Gobierno de los Estados Unidos está gastando más de dos mil millones de dólares por año, tiene instalaciones en veintidós estados e importa minerales de uranio de lugares tan alejados

como el Congo Belga, en África, y desde el Canadá hasta Australia.

En lugar del pequeño laboratorio instalado bajo las tribunas de Chicago, donde Enrico Fermi encendió la primera llama atómica, el Laboratorio Nacional de Argonne se dedica actualmente a investigar las aplicaciones pacíficas del átomo. Se están desarrollando experimentos para esclarecer cómo la planta de caucho forma moléculas de caucho en forma tan superior a la goma sintética, cómo se pueden tratar las enfermedades por métodos radiactivos y cómo se pueden construir nuevos hornos atómicos para iluminar una mayor cantidad de nuestros hogares.

En 1934 en la Universidad de California, situada en Berkeley, California, el doctor Ernest O. Lawrence, perfeccionó el ciclotrón, que es una de las máquinas atómicas más perfectas y sirve para romper átomos. Allí el ciclotrón ya no funciona con miles de electrovoltios, sino con más de seis mil millones. Los científicos de Berkeley han ido penetrando en el centro del átomo, el núcleo, para tratar de desentrañar los nuevos secretos que sigue guardando.

A pocos kilómetros de Berkeley, el doctor Edward Teller, quien fue el principal responsable del perfeccionamiento de la bomba de hidrógeno, está tratando de reproducir en la tierra lo que sucede en el sol y en todas las estrellas, siempre con la idea de que sus descubrimientos serán de utilidad para usted y yo.

Los Álamos, Nuevo México, sitio de prueba de la pri-



mera bomba atómcia, sigue siendo lugar de investigaciones para las aplicaciones militares de la energía nuclear, bajo la dirección del doctor Norris E. Bradbury.

En Aiken, Carolina del Sur, treintidós kilómetros al sudeste de Atlanta, Georgia, y diseminados en más de setecientos cincuenta kilómetros cuadrados de colinas, o sea una superficie cuatro veces mayor que la del distrito de Columbia, existen innumerables edificios separados con reactores para la producción de hidrógeno de triple peso y plutonio. Esta vasta empresa es la instalación de la Comisión de Energía Atómica en el río Savannah.

Aparte de las grandes inversiones gubernamentales en energía atómica bajo el programa permanente de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, las compañías particulares están gastando miles de millones de dólares para hacer que la energía atómica sea más útil. Las plantas electrógenas nucleares consumen miles de toneladas de uranio por año. Más de cuarenta mil hombres de ciencia trabajan en este vasto programa.

Pero, ¿cómo irá a afectar esto nuestra vida diaria a medida que entremos en la era atómica?

Dentro de pocos años, cuando encendamos una luz en nuestra casa, existirá una probabilidad en diez que la electricidad provenga de una planta eléctrica nuclear. La nevera de la cocina irá haciéndose más chica y se la usará para hacer hielo y enfriar la comida. La mayoría de los alimentos serán conservados mediante radiaciones atómicas, de modo que los lugares para el almacenamiento de los comestibles en la cocina consistirán en estantes,

mantenidos libres de polvillo en forma electrónica. Usted sólo deberá ir al mercado una vez por mes, para dejar la carne, las patatas y la fruta en los estantes. Se conservarán por tiempo indefinido sin perder su frescura y sabor.

El que los automóviles y los pequeños aviones lleguen a utilizar combustible nuclear dependerá de lo pronto que se logre producir corazas seguras y livianas contra la radiación. Sin embargo, dado que cada vez se están construyendo reactores nucleares más compactos, indudablemente los aviones intercontinentales contarán con propulsión atómica antes de que transcurra mucho tiempo.

Trenes como el *Twentieth Century* y el *Super Chief* serán propulsados atómicamente y de ahora en adelante no se construirá ningún barco que utilice otra cosa que energía atómica.

Es probable que el antiguo quemador de petróleo del sótano sea reemplazado por un nuevo dispositivo llamado bomba de calor, accionado por electricidad proveniente de la planta electrógena atómica, o bien por una fuente de calor alojada en un recipiente del tamaño del tanque de petróleo de su casa. Esta última fuente consistirá en pequeñas cantidades de desechos radiactivos de algún reactor nuclear.

Los relojes serán puestos en hora en base a un reloj atómico, tan exacto que sólo atrasa un segundo en trescientos años. Esto substituirá los métodos que se usan en la actualidad para determinar el tiempo en base al movimiento de las estrellas.

Nuevos sitios para vacaciones surgirán en regiones de-



siertas muy apartadas del mundo, donde los reactores nucleares suministrarán energía eléctrica.

Los horticultores aficionados podrán adquirir plantas tratadas previamente con radiaciones. Crecerán en la mitad del tiempo, ayudadas por un fertilizante atómico, de modo que las cosechas serán más grandes y madurarán antes.

Incluso los helados serán mejores debido a la energía atómica. Del mismo modo en que en la industria el fabricante puede mejorar un automóvil o un ventilador eléctrico porque determina qué sucede durante la elaboración utilizando rastreadores radiactivos, así el fabricante de helados podrá mejorar su producto.

En verdad es imposible nombrar un producto que nó pueda ser mejorado mediante el empleo de la radiación o los materiales radiactivos.

El empleo de rastreadores radiactivos, como hemos revelado, permite al médico vigilar exactamente qué ocurre dentro del paciente, para diagnosticar y tratar la enfermedad con mucha mayor facilidad. La acción de ciertos materiales radiactivos sobre la sangre, la carne y los huesos, eventualmente llegará a eliminar o a dominar muchas enfermedades. Como casi toda enfermedad afecta el torrente circulatorio, se pueden emplear técnicas de rastreo atómico para determinar la causa y curar la dolencia.

La energía atómica está permitiendo a los científicos el estudio de los rayos cósmicos y otros fenómenos del escio ultra-atmósferico. Esto esclarecerá si el hombre pue-

de vivir en el espacio interplanetario y dará respuesta a muchas cuestiones médicas relacionadas con el vuelo espacial, cuya única barrera es en la actualidad la resistencia del hombre. Cohetes propulsados atómicamente que prescindirán de las grandes cargas de combustible, llegarán pronto al espacio ultraterreno y brindarán al hombre satélites que girarán alrededor del planeta. A continuación vendrá el cohete a la luna, de propulsión atómica.

El Presidente Dwight D. Eisenhower dijo en un mensaje dirigido a una exposición atómica realizada en Roma en 1954 y transcripta por el *New York Times*:

*Hace muy poco hemos traspuesto la mitad del siglo veinte. Sin embargo, estoy convencido de que algún día la historia registrará como los adelantos físicos de más largo alcance de todo este siglo —o incluso de veinte siglos— los descubrimientos que, en años recientes, abrieron para la humanidad el aprovechamiento de la energía ilimitada del átomo.*

*Porque entre las innumerables generaciones que han poblado este planeta, el destino ahora ha encomendado a los seres vivientes la adopción de decisiones sobre el uso de la energía nuclear, decisiones que regirán en gran medida el futuro de la humanidad. Nunca hasta ahora la sabiduría y visión del hombre han sido puestas a prueba en forma tan suprema. Nunca jamás los hombres volverán a tener una oportunidad tan extraordinaria para lograr su propio mejoramiento, ni una responsabilidad tan grande para su propio destino.*

# ÍNDICE


*Prefacio* .................................... 7

*Introducción* .................................... 9

*¿Qué es el átomo?*
CAPÍTULO I .................................... 13

*¿Cómo hemos descubierto que los átomos existen?*
CAPÍTULO II .................................... 21

*El átomo es prácticamente nada.*
CAPÍTULO III .................................... 31

*Una "reacción en cadena" histórica.*
CAPÍTULO IV .................................... 41

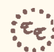
*El horno atómico.*
CAPÍTULO V .................................... 57

*Máquinas atómicas: una mirada al átomo.*
CAPÍTULO VI .................................... 69

*Aventuras de isótopos.*
CAPÍTULO VII .................................... 77

*La energía atómica en la industria.*
CAPÍTULO VIII .................................... 95

*El futuro y el átomo.*
CAPÍTULO IX .................................... 113



LA PRESENTE EDICIÓN SE TERMINÓ DE IMPRIMIR EL 31 DE MAYO DE 1957 EN LOS TALLERES GRÁFICOS TORFANO CASTRO BARROS 130, BUENOS AIRES, REPÚBLICA ARGENTINA

*(viene de la primera solapa)*

bién en la agricultura, la energía atómica puede tener y tendrá efectos tan vastos que quien quiera proyecte una carrera debe tener algún conocimiento de lo que va a la delantera en la edad átomica.

Además, en su prólogo dice John R. Dunning, uno de los que efectuaron el experimento original en Columbia, "la era atómica ya se nos ha echado encima y, mucho antes de lo que se piensa, la energía nuclear tendrá un efecto cada vez más constructivo sobre nuestra vida corriente. Del mismo modo como entendemos algo de automóviles, radio y televisión, debemos entender algo de energía atómica".

Ilustrado por Robert J. Lee.

EDITORIAL ÁGORA

Jerónimo Salguero 267/69

Buenos Aires, Rep. Argentina

COLECCIÓN MENSUAL

TEMAS ACTUALES

$ 10.- m/argentina el ejemplar